

Laurea magistrale in Architettura Costruzione Città

# LUCE NATURALE NEGLI EDIFICI

APPROCCIO SIMULATIVO PER LA  
VERIFICA DEI REQUISITI DELLA  
NORMATIVA EUROPEA

CANDIDATO

Matteo Siragusa

RELATORI

Prof. Anna Pellegrino

Prof. Valerio Roberto Maria Lo Verso



**Politecnico  
di Torino**





Politecnico di Torino

Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città

**Luce naturale negli edifici:**  
Approccio simulativo per la verifica dei requisiti  
della normativa europea

RELATORI

Prof. Anna Pellegrino

Prof. Valerio Roberto Maria Lo Verso

CANDIDATO

Matteo Siragusa

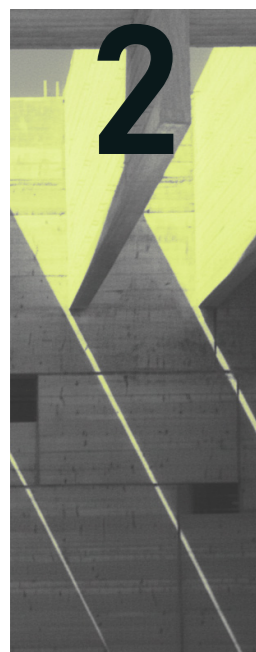
Anno accademico 2024-2025



# INDICE



## INTRODUZIONE



## IL RUOLO DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE IN ARCHITETTURA

2.1 - L'importanza della luce naturale per il benessere e la salute dell'uomo

2.1.1 - Benessere psicologico e cognitivo

2.1.2 - Benessere fisico

2.1.3 - Benessere percettivo

2.2 - Benefici ambientali ed energetici della luce naturale



## L'APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE NEGLI EDIFICI: LE METRICHE DI RIFERIMENTO

3.1 - Le regole del pollice - Rules of thumb

3.2 - Il Daylight Factor (DF) e il Fattore di Luce Diurna Medio ( $FLD_m$ )

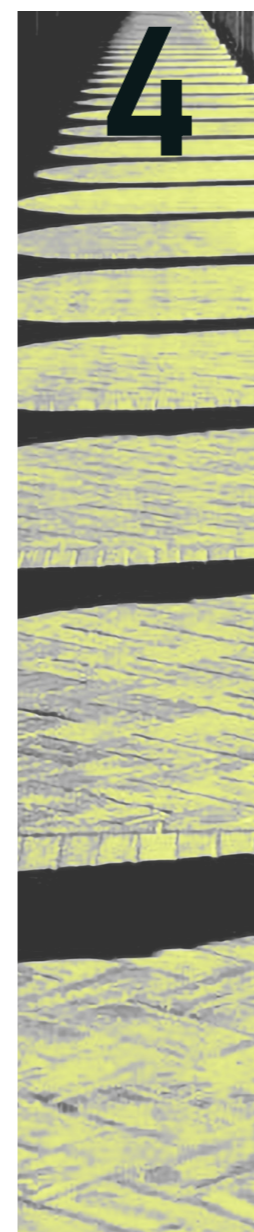
3.3 - Le metriche di calcolo climate based (CBDM)

3.3.1 - Spatial Daylight Autonomy (sDA)

3.3.2 - Annual Sunlight Exposure (ASE)

3.3.3 - Useful Daylight Illuminance (UDI)

3.3.4 - Daylight Glare Probability (DGP)



## L'APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE NEGLI EDIFICI: I RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

4.1 - La legislazione nazionale

4.2 - Il quadro tecnico normativo

4.2.1 - La normativa europea UNI 10840:2007 - "Illuminazione naturale di ambienti interni - Criteri generali per la valutazione e la progettazione"

4.2.2 - La normativa europea UNI EN 12464-1:2021 "Illuminazione dei posti di lavoro"

4.2.3 - La normativa UNI EN 15193-1: 2021 "Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione"

4.3 - I protocolli di certificazione

4.3.1 - Il protocollo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

4.3.2 - Il protocollo internazionale BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

4.3.3 - Il protocollo internazionale WELL (Well Building Standards)

4.3.4 - Il protocollo ITACA

4.3.4 - I CAM (Criteri Ambientali Minimi)



## LA NORMATIVA UNI EN 17037:2018+A1:2021 - APPLICABILITÀ ED ESIGENZA DI REVISIONE

5.1 - La normativa UNI EN 17037:2018+A1:2021 - "Daylight in buildings"

5.1.1 - I requisiti di valutazione

5.2 - ESIGENZA DI REVISIONE E APPLICABILITÀ DELLA NORMATIVA UNI EN 17037:2018+A1:2021

5.2.1 - Criticità e vantaggi rilevati nei requisiti attuali e limiti di applicabilità

5.2.2 - Conclusioni



## **SIMULAZIONI DI LUCE NATURALE NELL'EDILIZIA ITALIANA**

### **6.1 - Criteri di selezione dei casi studio**

6.1.1 - L'edificio industriale

6.1.2 - L'edificio residenziale

6.1.3 - L'edificio per uffici

### **6.2 - Definizione dei modelli e dei parametri simulativi**

6.2.1 - Confronto tra i software di calcolo simulativo: ClimateStudio e Honeybee (a Ladybug tool for Grasshopper)

### **6.3 - Simulazione di luce naturale: valutazione e selezione del software**

3.3.1 - Spatial Daylight Autonomy (sDA)

3.3.2 - Annual Sunlight Exposure (ASE)

3.3.3 - Useful Daylight Illuminance (UDI)

3.3.4 - Daylight Glare Probability (DGP)

### **6.4 - Risultati**

6.4.1 - Residenziale: Milano

6.4.2 - Residenziale: Roma

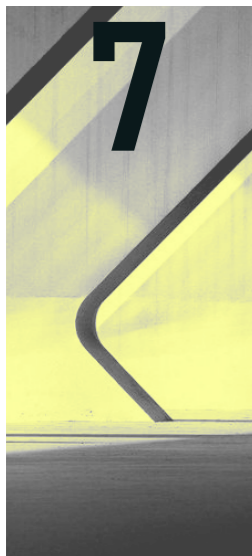
6.4.3 - Residenziale: Palermo

6.4.4 - Uffici: Milano

6.4.5 - Uffici: Roma

6.4.6 - Uffici: Palermo

6.4.7 - Industriale



## **ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI**



CAPITOLO

# 1

## INTRODUZIONE

La luce naturale rappresenta un elemento centrale nella progettazione architettonica, non solo come fattore estetico, ma anche come strumento capace di migliorare la qualità degli spazi, ridurre i consumi energetici e favorire il benessere psico-fisico degli occupanti. La sua corretta integrazione nel progetto richiede un approccio consapevole, in grado di bilanciare aspetti tecnologici, funzionali e normativi. L'illuminazione diurna, infatti, costituisce un tema di crescente interesse sia nel dibattito scientifico sia nelle pratiche professionali, poiché risponde in maniera diretta alle sfide poste dalla transizione ecologica, dagli obiettivi di efficienza energetica e dal comfort ambientale che guidano la progettazione contemporanea. Non si tratta unicamente di garantire la visibilità o di ridurre il ricorso all'illuminazione artificiale: la luce naturale influenza profondamente la percezione dello spazio, il benessere e la produttività degli utenti, assumendo un ruolo determinante nei luoghi

di lavoro, negli ambienti domestici e negli edifici destinati alla collettività. Per questo motivo, negli ultimi anni si è assistito a un progressivo rafforzamento delle normative e delle linee guida, che mirano a fornire strumenti condivisi per valutare e misurare la qualità dell'illuminazione naturale negli ambienti, traducendo concetti complessi in parametri tecnici applicabili ai progetti edilizi.

A livello europeo, un riferimento fondamentale è rappresentato dalla norma UNI EN 17037:2021 – “Daylight in buildings”, che definisce criteri e requisiti per l'impiego della luce naturale negli edifici. La norma si concentra su aspetti quali la disponibilità di luce diurna, la protezione dall'abbagliamento, la disponibilità di viste verso l'esterno e l'accesso alla luce solare diretta, offrendo così un quadro metodologico ampio e innovativo unico tra documenti normativi in materia. Come tutte le norme europee, la EN 17037 è soggetta a un processo di revisione periodico, con cadenza quinquennale, nel corso del quale la commissione tecnica incaricata stabilisce se confermare, aggiornare o ritirare il testo. Tale processo è coordinato dal CEN (Comitato Europeo di Normazione), che raccoglie i contributi dei diversi enti nazionali, tra cui UNI per l'Italia, al fine di garantire una progressiva armonizzazione dei requisiti tecnici e di adattarli all'evoluzione delle pratiche progettuali e delle esigenze del settore edilizio.

Questo lavoro di tesi si colloca all'interno di tale scenario, con l'obiettivo di indagare in modo critico l'applicabilità della norma UNI EN 17037:2021 nel contesto edilizio italiano. La ricerca si è basata su simulazioni di luce diurna condotte attraverso software di calcolo su archetipi edilizi rappresentativi del territorio nazionale. L'analisi ha preso in considerazione tre tipologie edilizie – residenziale, uffici e industriale – al fine di ampliare la varietà dei casi di studio e di evidenziare affinità e divergenze tra contesti diversi, pur regolamentati dallo stesso quadro normativo.

L'analisi comparativa ha permesso di individuare punti di forza, limiti e possibili lacune della norma europea, restituendo un quadro utile sia ai progettisti sia agli organismi normativi, in vista dei prossimi aggiornamenti. In questo senso, il lavoro intende non solo verificare la coerenza tra teoria normativa e applicazione

pratica, ma anche offrire contributi per l'ottimizzazione delle strategie di progettazione della luce naturale.

## CAPITOLO

# 2

### IL RUOLO DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE IN ARCHITETTURA

- 2.1 L'importanza della luce naturale per il benessere e la salute dell'uomo
- 2.2 I benefici ambientali ed energetici della luce naturale

L'illuminazione naturale rappresenta da sempre un elemento centrale nella progettazione architettonica, sia per le sue implicazioni estetiche e compositive, sia per l'impatto diretto che esercita sul benessere degli utenti e sulle prestazioni ambientali ed energetiche degli edifici. In un contesto in cui la sostenibilità è diventata una priorità progettuale, il daylight si configura come risorsa chiave, capace di coniugare qualità spaziale, comfort abitativo e riduzione dell'impatto ecologico.

Questo capitolo intende analizzare in modo articolato i molteplici benefici dell'illuminazione naturale, prendendo in esame gli effetti sul piano fisiologico e psicologico degli occupanti, le ricadute ambientali legate al ciclo di vita dell'edificio ed il ruolo strategico che essa assume nella riduzione dei consumi energetici.

# 2.1

## L'IMPORTANZA DELLA LUCE NATURALE PER IL BENESSERE E LA SALUTE DELL'UOMO

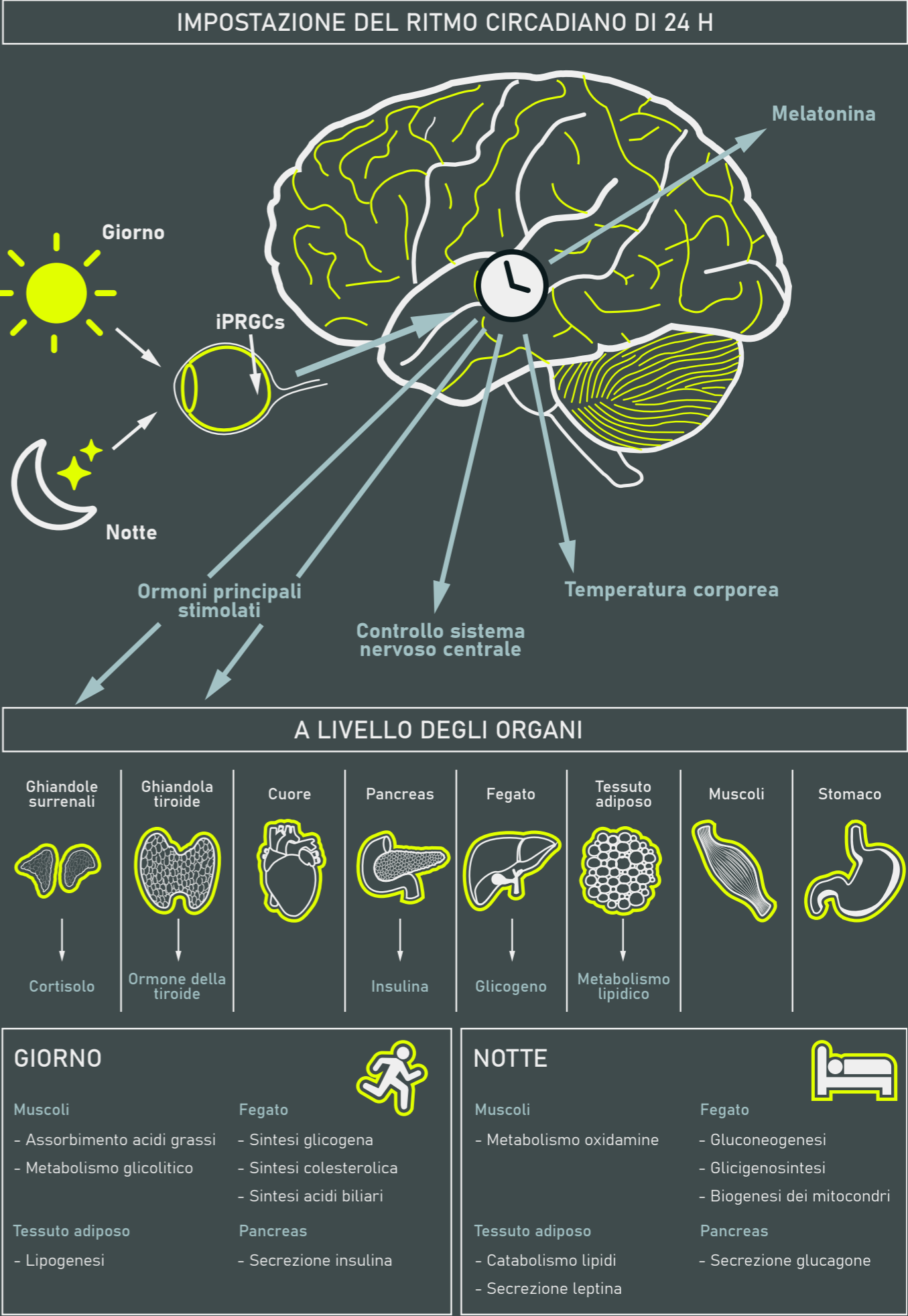
La luce naturale riveste un ruolo fondamentale nel garantire il benessere psicofisico degli individui e nel favorire condizioni ambientali che supportino le funzioni cognitive e biologiche dell'essere umano. In questa prospettiva, comprendere l'importanza della luce naturale per il benessere e la salute dell'uomo significa riconoscere la sua natura multidimensionale e strategica, che la rende un parametro irrinunciabile nella progettazione architettonica contemporanea.

### 2.1.1 - Benessere psicologico e cognitivo

A differenza della luce artificiale, che, per quanto evoluta risulta comunque tendenzialmente statica e uniforme, la luce diurna si caratterizza per una complessa variabilità. Questa variabilità si manifesta attraverso continui cambiamenti in intensità, direzione, distribuzione spaziale e composizione spettrale, generando un effetto dinamico che stimola profondamente il sistema percettivo umano. Tale stimolazione, che avviene in modo naturale e continuo, ha un impatto diretto sull'equilibrio fisiologico e sull'attività mentale degli individui.

Dal punto di vista psicofisiologico, la luce naturale esercita un'influenza profonda e sfaccettata sull'organismo. È ampiamente riconosciuto che essa giochi un ruolo essenziale nella regolazione del ritmo circadiano, il nostro orologio biologico interno, il cui corretto funzionamento è fondamentale per la salute generale. Il meccanismo alla base di questo processo coinvolge specifici fotorecettori non visivi, chiamati *ipRGCs* (*intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells*), presenti nella retina umana.<sup>1</sup> Queste cellule reagiscono in particolare

<sup>1</sup> (Tri Hoang Do & Yau, 2010)



1: L'orologio principale circadiano nel cervello umano - Rielaborazione grafica personale

alla porzione blu dello spettro luminoso, compresa tra i 460 e i 480 nanometri, che risulta dominante nella luce diurna naturale. Una volta stimolati, questi recettori inviano segnali all'ipotalamo, in particolare al nucleo soprachiasmatico, che rappresenta il centro di controllo dei ritmi circadiani.<sup>2</sup>

Attraverso la presenza o assenza della luce, il sistema circadiano regola la produzione di ormoni chiave come la melatonina, associata all'induzione del sonno, e il cortisolo, legato alla vigilanza e all'attivazione mentale, che nell'uomo si manifesta come uno stato di allerta e un aumento della temperatura e del battito cardiaco.<sup>3</sup>

Un'esposizione quotidiana a livelli adeguati di illuminamento contribuisce a mantenere una corretta sincronizzazione del ritmo sonno-veglia, migliorando la qualità del riposo notturno e riducendo sintomi quali stanchezza cronica, insonnia e alterazioni dell'umore. Inoltre, la luce naturale influisce positivamente sulla produttività e sullo stato emotivo generale, riducendo i livelli di stress, la percezione di affaticamento e aumentando la motivazione e il senso di benessere soggettivo.<sup>4</sup>

Deve essere tenuto in considerazione che la produzione di cortisolo e melatonina è scandita da una variazione ciclica durante la giornata. Il cortisolo segue un andamento diurno, con livelli che raggiungono il suo picco al mattino, per aiutare il corpo a svegliarsi ed a prepararsi alle funzioni quotidiane, e diminuiscono durante la sera, raggiungendo il livello minore a mezzanotte.

La melatonina al contrario è stimolata dall'oscurità ed inibita dalla luce, rimane a bassi livelli durante la mattina ed aumenta verso la sera, con picchi massimi e minimi opposti rispetto ai livelli di cortisolo.

Una eccessiva o non sufficiente esposizione alla luce solare potrebbe dunque alterare questa ciclicità, provocando effetti disfunzionali come alterazione del ritmo sonno-veglia, esaurimento ed inefficienza.<sup>4</sup>

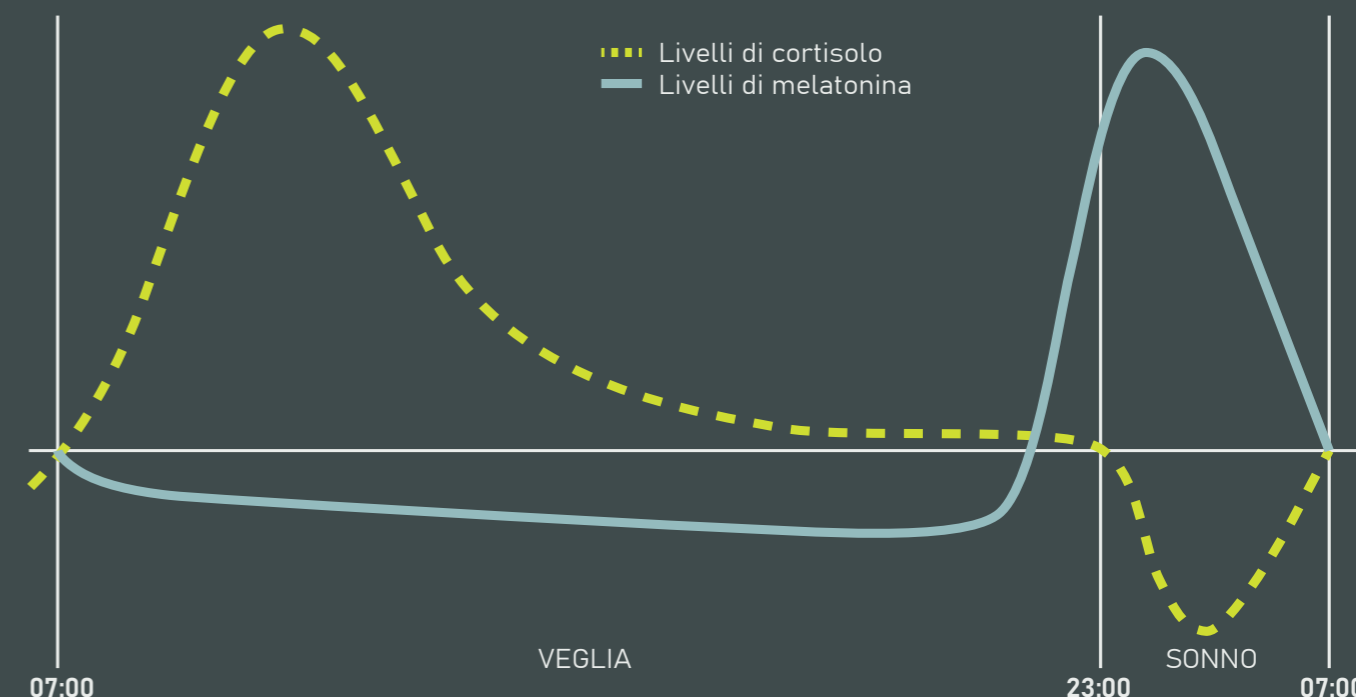
Un ulteriore effetto della luce naturale e dell'attivazione del ritmo circadiano avviene nelle prestazioni visive, aumentano i riflessi

<sup>2</sup> (Wirz-Justice et al., 2021)

<sup>3</sup> (Altomonte, 2008)

<sup>4</sup> (Zamanian et al., 2013)

<sup>5</sup> (Aranda & Schmidt, 2021)



2: L'orologio ormonale del corpo umano - Rielaborazione personale del grafico che illustra la ciclica produzione giornaliera di cortisolo e melatonina.

della pupilla e migliorano le funzioni e le percezioni ottiche.<sup>5</sup> Questo effetto benefico si manifesta anche in ambienti di lavoro e di studio, dove la variabilità luminosa naturale viene percepita come più stimolante e meno oppressiva rispetto all'illuminazione artificiale statica. Sebbene gli effetti sulle prestazioni cognitive a breve termine non siano sempre direttamente misurabili, numerosi studi indicano che l'esposizione alla luce naturale contribuisce a migliorare la concentrazione, l'attenzione e la capacità di apprendimento, agendo in modo indiretto ma significativo sulle attività quotidiane.<sup>6</sup>

2.1.2 - Benessere fisico

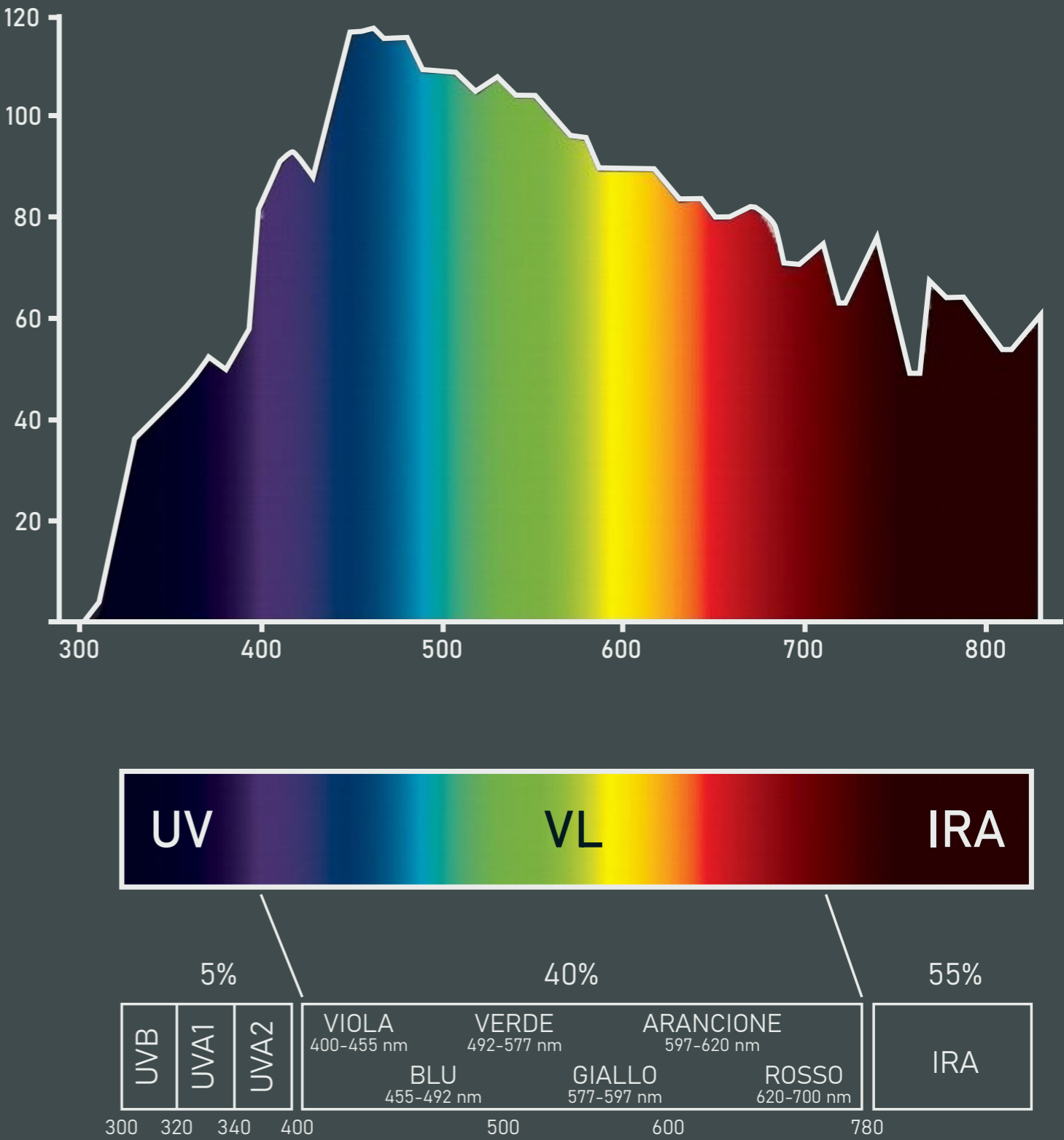
A questi benefici di natura cognitiva e psicologica si sommano quelli legati alla salute fisica. La radiazione solare, in particolare nella componente ultravioletta B (UVB), è infatti essenziale per la sintesi cutanea della vitamina D, un ormone che svolge funzioni cruciali nel metabolismo del calcio e del fosforo, influenzando direttamente la mineralizzazione ossea e contribuendo in modo decisivo alla prevenzione di patologie come il rachitismo e l'osteomalacia.<sup>7</sup>

Quando la pelle viene irradiata dai raggi UVB, con lunghezze d'onda comprese tra 280 e 320 nm, avviene la sintesi della vitamina D3. Una volta sintetizzata, la vitamina viene metabolizzata dal fegato e dai reni, che agiscono come regolatori del metabolismo minerale e come modulatori di processi immunitari e neurologici.<sup>8</sup> Nei primi anni di vita questo processo ha una rilevanza maggiore, poiché l'apparato scheletrico è in rapida crescita e il sistema immunitario non è abbastanza sviluppato. Molto spesso, infatti, l'organismo non riesce a soddisfare il fabbisogno di vitamina D necessario di questi anni, ha bisogno di un supplemento che può arrivare anche dall'aumento dell'esposizione alla luce solare.

L'efficienza della sintesi di vitamina D, tuttavia, non è uniforme e dipende da una molteplicità di variabili.

La latitudine rappresenta un fattore determinante: nelle zone poste oltre i 37° di latitudine nord o sud, nei mesi invernali l'irraggiamento solare non è sufficiente a stimolare la sintesi cutanea della vitamina D. Anche l'ora del giorno riveste un

<sup>6</sup> (Schöllhorn et al., 2023)  
<sup>7</sup> (Holick, 2010)  
<sup>8</sup> (Engelsen, 2010)



3: Spettro della radiazione solare. I tre range di lunghezze d'onda dello spettro della radiazione solare che hanno un impatto sulla pelle sono: i raggi ultravioletti (UV), la luce visibile (Vis) e gli infrarossi A (IRA). - Rielaborazione grafica personale

ruolo significativo, poiché la concentrazione di radiazione UVB è massima nelle ore centrali. Un esempio a supporto di questo fattore arriva da uno studio del 2019, che ha evidenziato l'insufficienza di ricezione di luce solare in soggetti dell'Italia settentrionale nel periodo invernale, consigliando integratori di vitamina D da novembre a maggio almeno per adolescenti e bambini.<sup>9</sup>

A questi fattori ambientali si sommano quelli individuali: il fototipo cutaneo, ad esempio, incide sensibilmente sulla capacità di sintesi. È stato dimostrato che individui con pelle scura necessitano di un tempo di esposizione fino a dieci volte superiore rispetto a soggetti con pelle chiara per produrre la stessa quantità di vitamina D.<sup>10</sup>

Prevedere delle strategie di daylight per gli ambienti dedicati a persone di questa fascia di età e non solo risulta dunque fondamentale per la corretta crescita e per la prevenzione delle patologie di cui si può essere affetti. Tuttavia, non si può fare a meno di considerare i rischi legati alla vulnerabilità della pelle e ai danni indotti dalle radiazioni ultraviolette. Per questo motivo, società scientifiche internazionali come l'American Academy of Pediatrics raccomandano di evitare una prolungata esposizione diretta ai raggi solari, privilegiando il ricorso a integratori specifici per garantire un apporto adeguato di vitamina D.<sup>11</sup>

I rischi più comuni legati a questo fenomeno sono i tumori cutanei, effetti acuti e cronici sulla pelle come eritemi e fotoinvecchiamento e danni oculari come fotocongiuntivite e aumento rischio cataratta in età adulta.

A ciò si aggiunge una limitazione spesso trascurata: la luce solare filtrata attraverso il vetro, tipica degli ambienti chiusi, non è in grado di stimolare la sintesi vitaminica, poiché i raggi UVB vengono quasi completamente assorbiti dal materiale trasparente.<sup>12</sup>

### 2.1.3 - Benessere percettivo

Oltre agli effetti biologici e cognitivi, la luce naturale ha un impatto significativo sulla percezione dello spazio e sull'esperienza sensoriale degli occupanti. Questo benessere percettivo

non dipende unicamente dalla quantità di luce presente, ma anche dalla qualità del suo ingresso, dalla distribuzione nello spazio e dalla possibilità di instaurare un dialogo visivo con l'ambiente esterno. In altre parole, la luce naturale modula la nostra percezione dello spazio, influenzando comfort visivo, orientamento, emozioni e senso di sicurezza. Analizzare questi aspetti permette di comprendere come il daylight non sia solo uno strumento funzionale, ma anche un elemento capace di modellare la qualità percettiva e l'esperienza architettonica complessiva degli ambienti.

### La vista verso l'esterno

Strettamente legato al daylight è il tema della vista verso l'esterno (view out), che ha acquisito negli ultimi anni un ruolo sempre più centrale nella riflessione sull'illuminazione naturale negli edifici. Se tradizionalmente le finestre venivano considerate prevalentemente come elementi di ingresso di luce, oggi è evidente che la loro funzione vada ben oltre la dimensione quantitativa del daylight: esse rappresentano infatti un dispositivo visivo che mette in relazione lo spazio interno con il contesto esterno, incidendo in maniera determinante sul comfort, sulla percezione e sull'esperienza complessiva degli occupanti.

La ricerca ha dimostrato come la possibilità di accedere a una vista qualificata migliori sensibilmente la soddisfazione visiva e il benessere generale. Rispetto ad ambienti di lavoro dotati di tende, la scelta di un vetro elettrocromico, ad esempio, restituisce negli utenti una percentuale di soddisfazione più alta.

Un vetro elettrocromico, infatti, è una soluzione che permette di regolare l'intensità della luce solare e la radiazione infrarossa che lo attraversano senza l'uso di tende o schermature meccaniche. Questo sistema, che sfrutta reazioni elettrochimiche e ioniche, permette di modificare la trasmissione luminosa del componente in pochi secondi e viceversa, offrendo controllo dinamico preservando il contatto visivo con l'esterno.

La soddisfazione legata a questa tecnologia, infatti, non si riscontra soltanto nella quantità di luce diurna entrante, ma anche

<sup>9</sup> (Mazzoleni et al., 2019)

<sup>10</sup> (Jindal et al., 2020)

<sup>11</sup> (Balk, 2023)

<sup>12</sup> (Zendjabil & Abou, 2015)

<sup>13</sup> (Woo et al., 2021)

<sup>14</sup> (Ko et al., 2022)

nella qualità della connessione visiva con l'esterno, riportando al contempo una riduzione significativa dell'affaticamento visivo e dello stress.<sup>13</sup> Questo suggerisce che la finestra, quando progettata come elemento dinamico e capace di mediare tra luce e visuale, contribuisca a costruire ambienti più confortevoli e psicologicamente stimolanti.

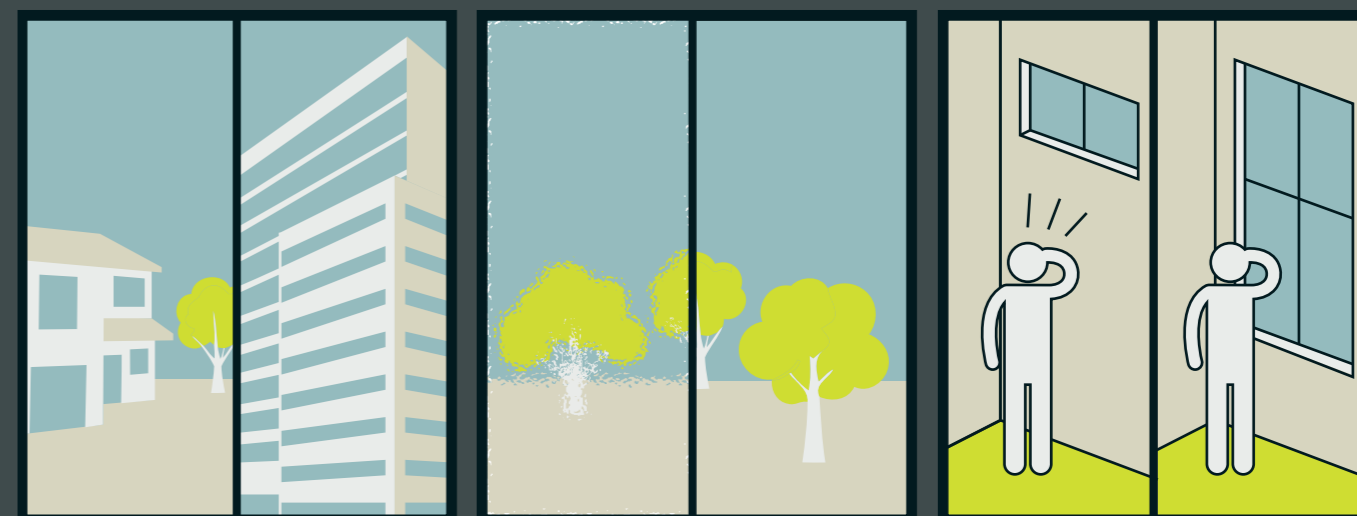
Non è tuttavia sufficiente garantire la mera presenza di un affaccio: ciò che conta è la qualità della vista. Uno studio del 2020 ha evidenziato che il valore del view out dipende da tre fattori principali:

- *View Content* (contenuto visivo, ad esempio natura, orizzonte urbano, cielo),
- *View Clarity* (nitidezza e riconoscibilità della vista)
- *View Access* (grado di visuale accessibile dall'utente),<sup>14</sup>

Una finestra che inquadra un cielo aperto o un paesaggio naturale offre un'esperienza percettiva molto diversa rispetto a un affaccio su superfici opache e ravvicinate; allo stesso modo, un'apertura ampia e limpida consente di stabilire una relazione con l'esterno che va oltre il semplice passaggio della luce.

Il legame tra vista e comfort si estende anche a dimensioni meno intuitive, come la percezione termica e la concentrazione. È stato osservato, ad esempio, che occupanti collocati in ambienti con finestre riportano una sensazione termica più confortevole rispetto a chi si trova in stanze prive di affacci, pur in condizioni climatiche interne identiche. La presenza di una vista contribuisce inoltre a migliorare lo stato emotivo e a sostenere la capacità di concentrazione e di lavoro.<sup>15</sup>

Le esperienze soggettive legate alla luce naturale confermano che il daylight non può essere compreso unicamente attraverso valori misurabili di illuminamento. La percezione della piacevolezza e della vitalità di uno spazio illuminato naturalmente dipendono in larga misura da caratteristiche qualitative e temporali, difficilmente quantificabili. Gli occupanti tendono a valutare più positivamente gli ambienti in cui la luce si combina con una vista esterna articolata, capace di restituire variazioni cromatiche e



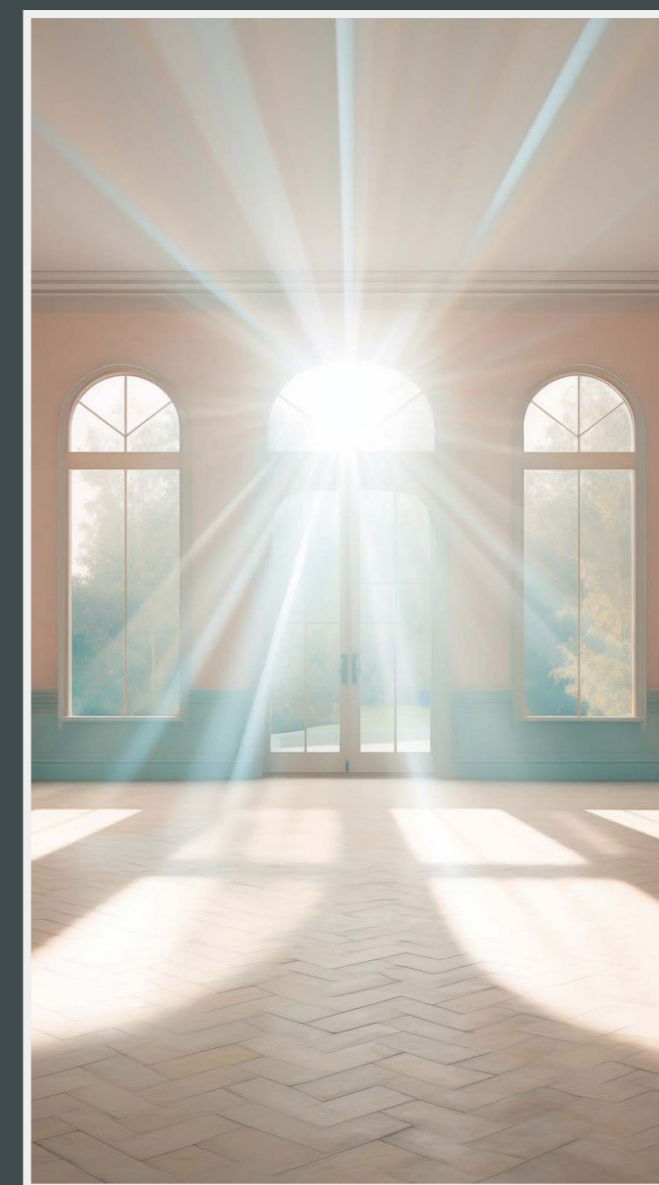
*View Content*

*View Clarity*

*View Access*



4: abbagliamento molesto provocato da una superficie con riflettanza elevata, sensazione di fastidio all'occhio, visione non compromessa.



5: abbagliamento disabilitante provocato dalla luce diretta, riduzione della capacità di vista nitida, presenza "veli luminosi" nell'occhio.

<sup>15</sup> (Thayanithy & Perera, 2023)

<sup>16</sup> (Vikberg et al., 2022)

dinamiche atmosferiche nel corso della giornata.<sup>16</sup>

Parlare di *view out* significa oggi riconoscere che la finestra è molto più di un semplice varco per la luce: è un mediatore sensibile tra interno ed esterno, capace di incidere sul comfort visivo, sul benessere psicologico e sulla percezione complessiva dello spazio. La progettazione architettonica che sa integrare luce e vista in maniera sinergica riesce a costruire ambienti più equilibrati, confortevoli e significativi, nei quali la luce naturale non è soltanto una condizione tecnica, ma una componente esperienziale e culturale.

### L'abbagliamento

Altro tema strettamente connesso con la percezione che si ha di un ambiente illuminato da luce naturale è "l'abbagliamento" o *glare*. L'abbagliamento rappresenta uno dei fenomeni più rilevanti nello studio della qualità della luce, in quanto incide direttamente sia sul comfort visivo sia sulla capacità di svolgere attività in modo efficace. La definizione ufficiale di questo fenomeno è riportata dall'*International Commission on Illumination (CIE)*, la quale ha stabilito un vocabolario unificato per descrivere le principali grandezze fotometriche e percettive. Il *glare* può essere definito come "una sensazione visiva prodotta da luminanze all'interno del campo visivo che sono sufficientemente più alte di quelle a cui l'occhio si è adattato, e che causano disagio, riducono la capacità di vedere dettagli o oggetti, o entrambe le cose."<sup>17</sup>

Sempre nel *CIE S 017/E:2020* vengono identificate due forme principali di abbagliamento:

- l'abbagliamento molesto (*discomfort glare*), che si manifesta come sensazione di fastidio anche senza compromettere la visione,
- l'abbagliamento debilitante (*disability glare*), che invece riduce concretamente la capacità di percepire i dettagli a causa della formazione di veli luminosi all'interno dell'occhio.

Oggi il problema dell'abbagliamento assume un ruolo centrale in relazione alla luce naturale, soprattutto negli ambienti caratterizzati da ampie superfici vetrate. Le variazioni di luminanza

legate alla posizione del sole e alle condizioni atmosferiche rendono infatti complessa la previsione del fenomeno e hanno spinto la ricerca a sviluppare metriche specifiche per valutarne l'entità (approfondimento in Capitolo 3: "L'APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE NEGLI EDIFICI: LE METRICHE DI RIFERIMENTO").

La percezione di abbagliamento non dipende però solo da valori misurabili di luminanza o illuminamento verticale, ma anche dal contesto visivo e dalla qualità della vista verso l'esterno. Le evidenze raccolte in edifici per uffici e spazi educativi dimostrano che la disposizione delle postazioni, l'orientamento delle finestre e il contenuto visivo dell'affaccio influenzano in maniera determinante la sensazione di comfort dovuta all'abbagliamento. Non è quindi sufficiente garantire un livello medio di illuminazione naturale: è necessario valutare come la luce si distribuisce nello spazio e come le luminanze elevate si rapportano al campo visivo degli occupanti ed alla tipologia di contesto fruibile dalle aperture vetrate. È stato dimostrato, infatti, che una finestra che inquadra un paesaggio lontano o il cielo aperto è percepita come meno abbagliante, a parità di condizioni luminose, rispetto a un affaccio verso superfici opache ravvicinate o prive di interesse visivo.<sup>18</sup> Questo suggerisce che il contenuto e la profondità della vista possano mitigare la sensazione di abbagliamento generata dalle luminanze elevate.

Al tempo stesso, la presenza di *glare* può compromettere il valore percettivo e psicologico della vista. Un affaccio inondato da luce solare diretta non filtrata rischia infatti di trasformarsi da risorsa a elemento disturbante, inducendo gli occupanti a ricorrere a schermature che oscurano completamente l'apertura e annullano il beneficio visivo verso l'esterno.<sup>19</sup> In questo senso, il controllo dell'abbagliamento non deve essere considerato soltanto come un obiettivo tecnico per garantire livelli di comfort, ma come condizione necessaria affinché il *view out* possa essere realmente fruibile e valorizzato.

In conclusione, l'abbagliamento non deve essere considerato come un mero effetto collaterale della presenza di luce naturale,

<sup>18</sup> (Yunitsyna & Toska, 2023)  
<sup>19</sup> (Vasquez et al., 2022)

<sup>17</sup> CIE S 017/E:2020

ma come un parametro essenziale di progetto, da affrontare in modo sistemico. La sua comprensione richiede l'integrazione di approcci normativi, che forniscono definizioni e soglie di riferimento, e contributi scientifici più recenti, che mettono in evidenza la dimensione soggettiva e contestuale della percezione. Una progettazione consapevole, capace di bilanciare illuminazione, comfort e vista, è quindi in grado di trasformare il potenziale critico dell'abbagliamento in un'opportunità per creare spazi qualitativamente migliori.

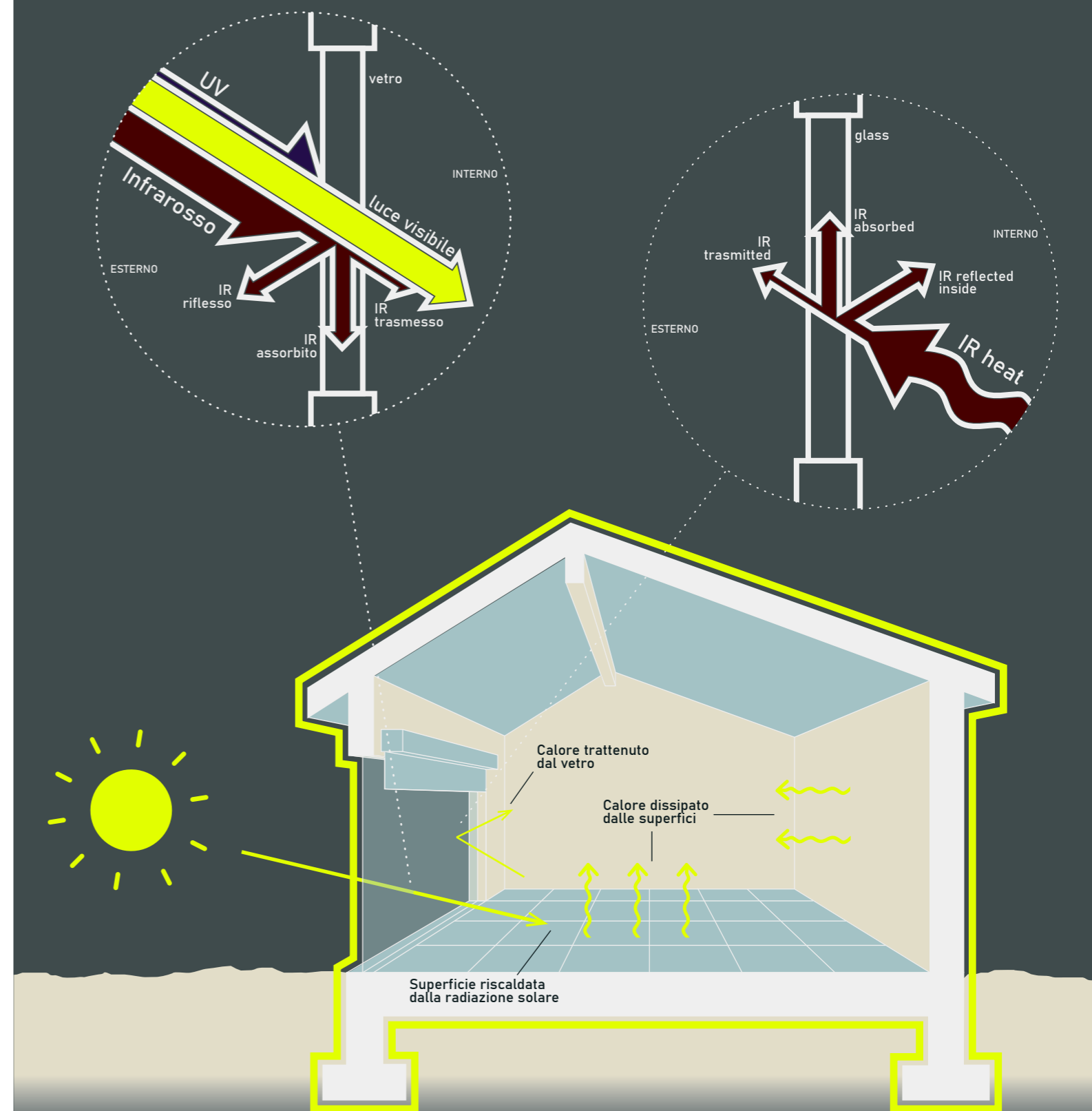
### Il carico termico

La radiazione solare che penetra all'interno degli edifici non porta con sé soltanto luce visibile, ma anche un consistente contributo energetico sotto forma di calore. Questo fenomeno, definito guadagno termico solare, costituisce uno degli aspetti più complessi da gestire nella progettazione dell'involucro edilizio, in quanto implica un delicato equilibrio tra comfort visivo e comfort termico.

La radiazione infrarossa contenuta nei raggi del sole e protagonista della componente termica della luce, non viene del tutto schermata dal vetro, ma riesce ad entrare negli ambienti interni, riscaldandoli. Tale componente, infatti, colpisce le superfici opache della stanza, che la assorbono e di conseguenza aumentano la loro temperatura e rilasciano calore. Questo fenomeno può portare diversi svantaggi, tra cui un effetto serra importante, poiché le finestre (specialmente se con doppio o triplo vetro) tendono ad avere un valore di trasmittanza termica ( $U$ ) relativamente basso, che impedisce al calore di fuoriuscire dall'ambiente. Il risultato è una condizione di sovraccarico termico che incide negativamente sul benessere degli occupanti e aumenta i fabbisogni energetici per la climatizzazione.<sup>20</sup>

Il calore trasmesso dalla luce naturale dipende da molteplici fattori: orientamento, latitudine, caratteristiche climatiche, proprietà dei materiali. Gestire queste variabili in una progettazione integrata e mirata può rivelarsi un elemento fondamentale per la riuscita di un progetto, poiché consente di massimizzare i benefici del daylight in termini di qualità percettiva e riduzione dei consumi

<sup>20</sup> (Kou et al., 2022)



7: Effetto serra in un edificio tipo - Rielaborazione grafica personale

energetici, limitando al contempo i rischi di surriscaldamento e garantendo condizioni di comfort termico e visivo ottimali per gli occupanti.

La luce naturale si conferma un elemento imprescindibile per il benessere umano, ma la sua efficacia non è mai scontata: dipende dalla qualità con cui viene integrata negli spazi. Se da un lato sostiene i processi biologici, cognitivi ed emozionali, dall'altro può tradursi in criticità rilevanti come disturbi del sistema circadiano, rischi cutanei e oculari, discomfort visivo o sovraccarichi termici. Ciò dimostra che il daylight non è una risorsa neutra, ma un parametro progettuale complesso che richiede controllo e bilanciamento. Non basta garantire quantità di luce: occorre considerare la variabilità, la relazione con l'esterno e il modo in cui essa plasma la percezione dello spazio. Solo un approccio consapevole permette di trasformare i suoi potenziali limiti in opportunità di progetto, facendo della luce naturale non solo un fattore tecnico, ma uno strumento critico per migliorare salute, comfort e qualità architettonica.

Tuttavia, i benefici della luce diurna non si esauriscono nella sfera individuale: essi si estendono anche alla dimensione collettiva e ambientale. L'impiego consapevole del daylighting rappresenta infatti una strategia chiave per ridurre consumi energetici, contenere emissioni e orientare l'architettura verso obiettivi di sostenibilità. È proprio in questa prospettiva più ampia che si inserisce il successivo approfondimento, volto ad analizzare i benefici ambientali ed energetici della luce naturale nel contesto edilizio contemporaneo.

## 2.2

### I BENEFICI AMBIENTALI ED ENERGETICI DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE

L'integrazione della luce naturale nella progettazione architettonica contemporanea rappresenta oggi una delle strategie fondamentali per migliorare le prestazioni energetiche complessive degli edifici e ridurre l'impatto del costruito sull'ambiente. Il daylighting, non è più considerato un semplice accorgimento progettuale, ma un vero e proprio strumento attivo nella transizione ecologica e nella lotta ai cambiamenti climatici. In questo senso, la luce naturale si configura come un alleato prezioso nel processo di decarbonizzazione del settore edilizio e nell'avvicinamento agli obiettivi europei in materia di neutralità climatica e sviluppo sostenibile.<sup>21</sup>

L'impiego del daylight si inserisce infatti a pieno titolo tra le strategie passive più efficaci per contenere i consumi energetici e ridurre le emissioni di gas serra. A differenza delle fonti convenzionali, il daylight è gratuito, abbondante e rinnovabile, e il suo corretto utilizzo consente di ridurre in maniera significativa il fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale.

L'adozione di una progettazione orientata al massimo sfruttamento della luce diurna, soprattutto durante le ore di maggiore disponibilità, comporta un abbattimento diretto dei consumi elettrici, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e migliorando il bilancio energetico ed ecologico dell'edificio. La gestione energetica della luce naturale non può infatti prescindere da una progettazione che sappia valorizzarla, indirizzarla e modularla in funzione delle esigenze di utilizzo. Se impiegata correttamente, essa consente di abbattere in modo significativo il fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale, incidendo al contempo sulla riduzione dei carichi

termici interni, in particolare nei mesi più caldi, quando la presenza di fonti artificiali può incrementare il surriscaldamento degli ambienti e generare un surplus di domanda per il raffrescamento meccanico.

A questo aspetto si aggiunge un ulteriore vantaggio: Anche se la luce naturale non produce direttamente energia, il suo utilizzo consente di diminuire il fabbisogno energetico complessivo, aprendo la strada a una più agevole integrazione di fonti rinnovabili come il fotovoltaico. In questo modo, si realizza una sinergia tra strategie passive e attive, nella quale la luce diurna svolge un ruolo di primo piano nell'abbassare il carico energetico da coprire con tecnologie impiantistiche, migliorando l'efficienza del sistema edificio-impianto nel suo complesso.

Dal punto di vista ambientale, l'adozione di sistemi di captazione della luce naturale – come lucernari, atri zenitali, corti interne o tubi solari – unita all'impiego di tecnologie efficienti come l'illuminazione LED, può ridurre fino al 50% l'impatto ambientale associato all'illuminazione di un edificio.<sup>22</sup> Ciò assume particolare rilevanza nei contesti pubblici e ad alta intensità d'uso, come scuole, biblioteche, ospedali, uffici ed edifici industriali, dove la dimensione degli spazi, l'elevato numero di utenti e la continuità operativa amplificano i consumi e richiedono soluzioni ancora più attente.

In tali ambienti, la progettazione orientata al daylighting non rappresenta soltanto una scelta auspicabile, ma una necessità per ridurre i consumi e migliorare la qualità degli spazi interni. Se accompagnata da simulazioni accurate e da un monitoraggio post-occupazione, questa strategia permette di ottenere risultati concreti e misurabili, allineati con gli obiettivi dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, in particolare il Goal 7 (energia pulita e accessibile) e il Goal 13 (lotta al cambiamento climatico).<sup>22</sup>

Uno dei parametri chiave per massimizzare il contributo energetico positivo della luce naturale è senza dubbio l'orientamento dell'edificio e delle sue aperture. Questo fattore, spesso sottovalutato nelle prime fasi della progettazione,

<sup>21</sup> (Maduta et al., 2023)

<sup>22</sup> (Garcia-Fernandez & Omar, 2023)

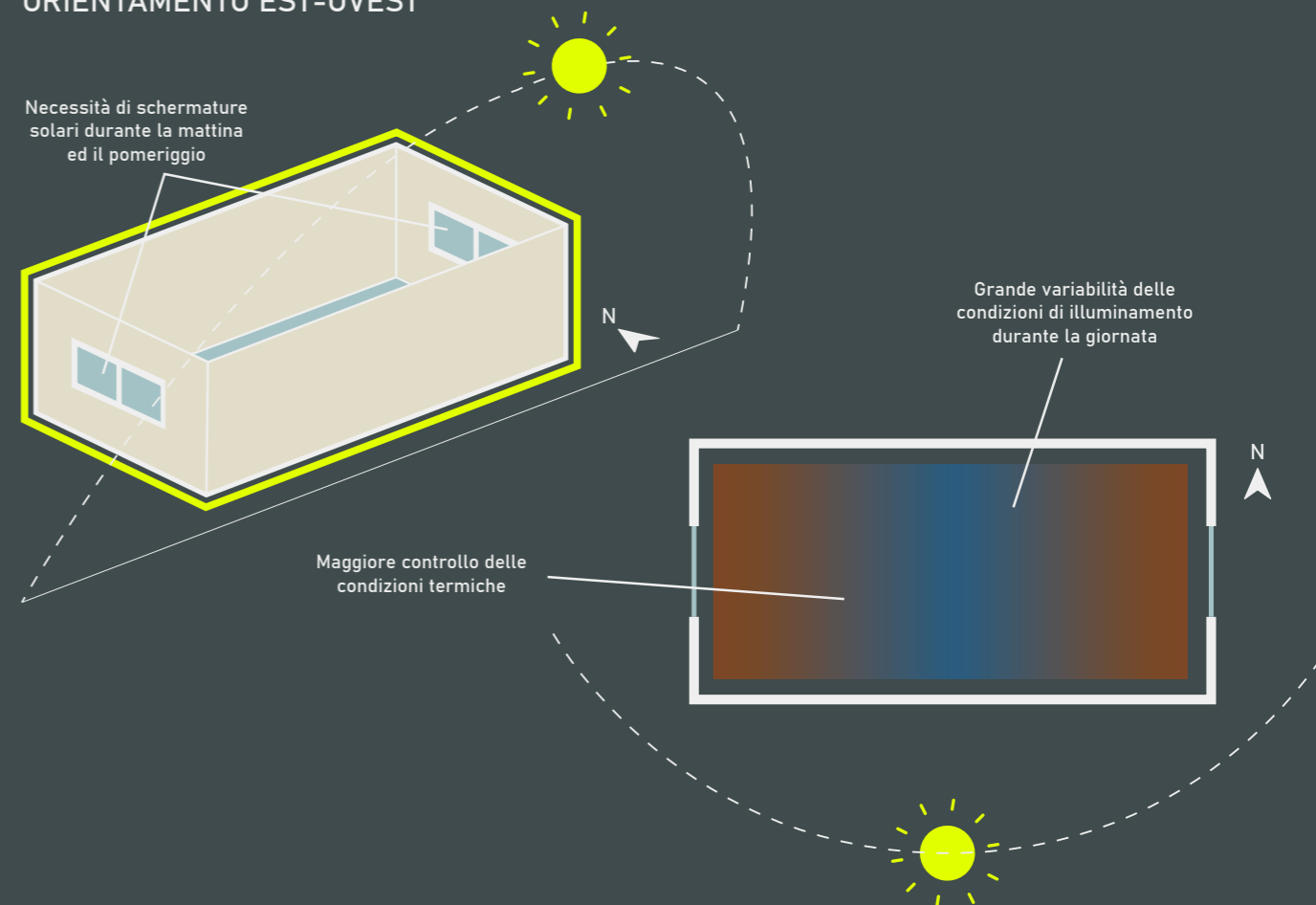
condiziona in modo determinante sia la qualità che la quantità della luce disponibile nei diversi ambienti. Un orientamento non ottimale può generare situazioni critiche come abbagliamenti, surriscaldamenti localizzati o, al contrario, insufficienza di illuminamento, costringendo a un maggiore ricorso a impianti di supporto.

L'orientamento est-ovest, ad esempio, comporta una marcata variazione dell'illuminamento durante l'arco della giornata, dovuta alla traiettoria solare: le facciate esposte a est ricevono luce diretta durante le ore mattutine, mentre quelle a ovest la ricevono nel pomeriggio. Questa condizione, se da un lato consente un'ampia distribuzione della luce naturale nei diversi spazi, dall'altro introduce una maggiore complessità nella gestione termica dell'edificio, richiedendo l'adozione di sistemi schermanti mobili o dispositivi di controllo per evitare il rischio di abbagliamento o surriscaldamento localizzato.

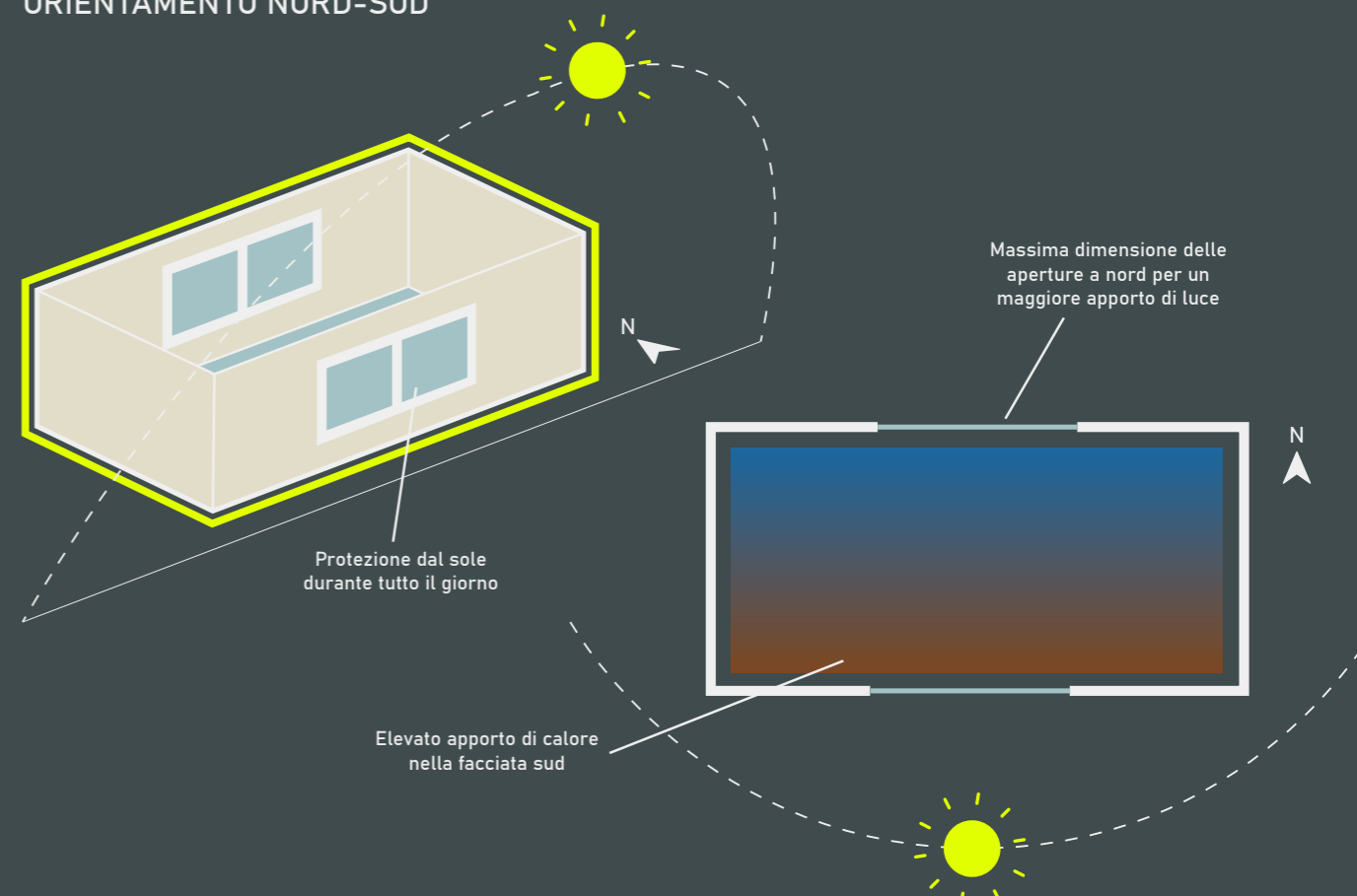
Al contrario, un orientamento nord-sud tende a garantire una maggiore stabilità delle condizioni luminose durante la giornata. Le aperture rivolte a nord forniscono una luce diffusa, costante e priva di radiazione diretta, ideale per spazi in cui è necessario ridurre i contrasti e mantenere un'illuminazione omogenea. Le superfici esposte a sud, invece, ricevono luce diretta per buona parte del giorno, il che implica una maggiore disponibilità luminosa ma anche un apporto termico più elevato, che può influire sul bilancio energetico estivo se non opportunamente mitigato. È proprio in questo equilibrio tra apporto luminoso e controllo termico che si gioca l'efficienza energetica dell'edificio: attraverso l'integrazione di schermature solari, superfici riflettenti, vetri selettivi o sistemi dinamici di controllo della luce, è possibile ottimizzare le condizioni interne e massimizzare i benefici energetici della radiazione solare.

È quindi evidente come l'orientamento delle aperture non rappresenti un semplice dato geometrico, ma un vero e proprio parametro di progetto capace di incidere in modo profondo sull'efficienza energetica complessiva. A ciò si aggiunge l'importanza di altri fattori come:

## ORIENTAMENTO EST-OVEST



## ORIENTAMENTO NORD-SUD



8: Effetto dell'orientamento di un edificio - Elaborazione grafica personale

- la profondità degli ambienti,
- il colore e la riflettanza delle superfici interne,
- la presenza di elementi schermanti esterni
- l'utilizzo di tecnologie per la regolazione automatica dei flussi luminosi.

L'adozione di una strategia energetica basata sull'uso intelligente della luce naturale richiede dunque un approccio olistico e integrato, che non si limiti alla semplice apertura di finestre ma coinvolga in modo sinergico l'intero sistema edificio-impianto, al fine di bilanciare correttamente esigenze luminose, termiche e visive.<sup>23</sup>

Basti infatti considerare che i sistemi di illuminazione artificiale presentano il picco di consumo proprio durante la loro fase di esercizio, spesso concentrata nelle ore in cui la luce naturale potrebbe invece essere utilizzata in modo più efficiente. In tal senso, una strategia progettuale integrata che combini l'impiego del daylight con tecnologie intelligenti – come sensori di presenza, regolatori di intensità luminosa e sistemi di gestione automatizzata – può portare a una drastica riduzione dei consumi, senza compromettere il comfort visivo degli occupanti. Questo approccio consente non solo un risparmio energetico significativo, ma anche un importante contributo agli obiettivi di mitigazione degli effetti del riscaldamento globale.

In conclusione, i benefici ambientali ed energetici della luce naturale non risiedono soltanto nella riduzione dei consumi elettrici, ma anche nella capacità di migliorare le condizioni di comfort interno e di contribuire alla sostenibilità complessiva del costruito. Una progettazione consapevole, capace di coniugare strategie passive e attive, consente di massimizzare le potenzialità del daylight, riducendo al contempo i rischi legati al suo utilizzo. La luce naturale si conferma così uno degli strumenti più potenti per guidare l'architettura verso modelli più resilienti, efficienti e sostenibili.

<sup>23</sup> (Jovanović et al., 2014)

## CAPITOLO

# 3

### L'APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE NEGLI EDIFICI: LE METRICHE DI RIFERIMENTO

- 3.1 Le regole del pollice - Rules of thumb
- 3.2 Il Daylight Factor (DF) e il Fattore di Luce Diurna Medio (FLD<sub>m</sub>)
- 3.3 Le metriche di calcolo climate based (CBDM)

Per poter sfruttare la luce naturale negli ambienti progettisti e ricercatori hanno da sempre cercato dei metodi e degli strumenti che potessero aiutarli a stimare le condizioni di illuminazione. Nascono quindi alla fine del XIX secolo le prime metriche di calcolo della luce naturale e rimangono tutt'ora, seppur cambiando ed evolvendosi, lo strumento principale di analisi e progettazione del daylight.

Questo capitolo intende dare un'analisi tipologica e cronologica delle metriche di cui i progettisti si servono per integrare strategie di daylighting nelle scelte progettuali. L'obiettivo è illustrare come tali metriche si siano evolute con l'introduzione di software di calcolo sempre più precisi, che hanno in parte cambiato l'approccio al daylighting: da semplice strumento di verifica ad obiettivo cardine della progettazione architettonica.

Alla luce delle considerazioni emerse nel capitolo precedente, è evidente come l'illuminazione naturale non possa essere ridotta a un mero fattore estetico o funzionale, ma debba essere intesa come una componente strategica della progettazione architettonica, capace di coniugare esigenze di benessere, qualità percettiva e sostenibilità ambientale. È da questa consapevolezza che nasce la necessità di tradurre i principi analizzati in obiettivi concreti di progettazione illuminotecnica.

Gli obiettivi fondamentali che la progettazione illuminotecnica deve perseguire possono essere sintetizzati come segue:

**1. Garantire un livello di illuminamento adeguato alle attività svolte:** la disponibilità di luce naturale deve assicurare condizioni visive idonee allo svolgimento delle funzioni specifiche di ciascun ambiente, che si tratti di spazi di lavoro, di studio o residenziali. Una corretta quantità di illuminamento, calibrata sulla destinazione d'uso, non solo supporta l'efficacia delle attività ma riduce anche la necessità di ricorrere all'illuminazione artificiale, con evidenti benefici energetici.

**2. Minimizzare l'abbagliamento e garantire uniformità luminosa:** come mostrato nel capitolo 2, il *glare* rappresenta uno dei principali fattori di discomfort visivo. La progettazione deve pertanto includere strategie di controllo della distribuzione delle luminanze e dell'orientamento delle superfici vetrate, con l'obiettivo di ottenere un'illuminazione omogenea e non disturbante, capace di mantenere la qualità percettiva degli spazi.

**3. Promuovere il benessere e la produttività degli occupanti:** la possibilità di accedere a una vista verso l'esterno si rivela determinante per ridurre l'affaticamento visivo e migliorare la condizione psicologica ed emotiva degli utenti. Come illustrato nel capitolo precedente, la presenza di un contatto visivo con l'ambiente esterno contribuisce a incrementare la concentrazione, la soddisfazione, la performance lavorativa e non solo.

**4. Ottimizzare i consumi energetici e favorire la sostenibilità:** il daylighting, se correttamente gestito, consente una significativa riduzione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale e, conseguentemente, delle emissioni associate. In questo senso, la luce naturale diventa parte integrante delle

strategie passive per l'efficienza energetica, facilitando anche l'integrazione con sistemi attivi come il fotovoltaico.

**5. Garantire la sicurezza degli ambienti:** un'adeguata illuminazione naturale contribuisce anche a ridurre i rischi visivi e potenziali incidenti, soprattutto in contesti lavorativi o pubblici, dove la precisione e la chiarezza visiva sono fondamentali per la sicurezza delle persone. La mancanza di luce sufficiente o la presenza di contrasti eccessivi possono compromettere la percezione e aumentare le probabilità di errore o di infortunio.

Per poter tradurre questi obiettivi illuminotecnici in soluzioni progettuali concrete, sono necessarie metriche di calcolo che permettano di misurare, stimare e prevedere le prestazioni della luce naturale.<sup>24</sup> Le metriche inoltre sono molto utili per verificare, comparare e ottimizzare le scelte di progetto, in relazione sia al contesto fisico (orientamento, ostruzioni, latitudine, clima) sia alle funzioni e alle attività degli ambienti interni.

In generale, è possibile distinguere tre tipologie principali di metriche - che verranno approfondite nel corso di questo capitolo - ciascuna con un diverso grado di complessità e precisione:

- **Regole del pollice:** metodi empirici e semplificati, basati sull'esperienza progettuale
- **Daylight Factor (DF):** metodo statico che permette di stimare la quantità minima di luce naturale in un ambiente in condizioni standard di cielo coperto.
- **Metriche basate su simulazioni climatiche (CBDM, Climate-Based Daylight Modelling):** strumenti più avanzati e dinamici, che si fondano su dati climatici reali e consentono di valutare la variabilità della luce naturale durante l'intero anno.

Il ricorso a queste metriche varia in funzione della fase di progetto, secondo uno schema di sintesi come il seguente:

1. Nella *fase di progettazione preliminare*, in cui l'obiettivo della progettazione illuminotecnica si limita a definire forma, orientamento e dimensioni delle aperture e delineare i rapporti geometrici tra le aperture e le dimensioni della stanza,

<sup>24</sup> (Lo Verso et al., 2014)

trovano applicazione le regole del pollice ed il Daylight Factor. Essi permettono di ottenere delle prime valutazioni rapide e semplificate e di verificare il rispetto dei requisiti minimi di illuminamento in condizioni standard, per guidare le prime scelte progettuali.

2. In una *fase di sviluppo* del progetto in cui si intende quantificare la disponibilità, la distribuzione e la tipologia della luce naturale, le metriche dinamiche CBDM sono la scelta migliore. Analizzando tali metriche su periodi temporali annuali, si può comprendere il comportamento generale della luce negli ambienti e validare le scelte progettuali.

3. Nella *fase esecutiva* invece, dove l'obiettivo consiste nel verificare le scelte definitive (materiali, vetri, schermature, finiture, arredi), adattare i dispositivi schermanti (schermi mobili, vetri selettivi) e controllare la prestazione energetica, è calzante l'utilizzo di metriche dinamiche con periodi temporali più ristretti e specifici. In tal modo sarà possibile affinare il progetto: dimensionare le schermature, scegliere vetri con trasmittanza adeguata, definire sistemi di controllo automatico e soprattutto valutare il comportamento negli scenari peggiori (estate, inverno o orientamento sfavorevole).

# 3.1

## LE REGOLE DEL POLLICE – RULES OF THUMB

Un approccio ampiamente diffuso nelle fasi preliminari della progettazione architettonica è quello dell'utilizzo delle "Regole del pollice" (*Rules-of-thumb*), ovvero formule semplificate basate su condizioni standard.

Queste regole basate sull'esperienza progettuale, sono state introdotte per mettere in correlazione una quantità di interesse del progetto con uno o più parametri di progettazione. Più precisamente sono delle formule semplificate e facili da ricordare che permettono al progettista di ottenere una risposta nella progettazione delle fasi preliminari senza andare ad allungare i tempi ed il processo di progettazione. Per quanto riguarda il *daylight* le Regole del pollice provano a stimare una possibile sufficienza di luce naturale e di salubrità senza l'utilizzo di procedure complesse.

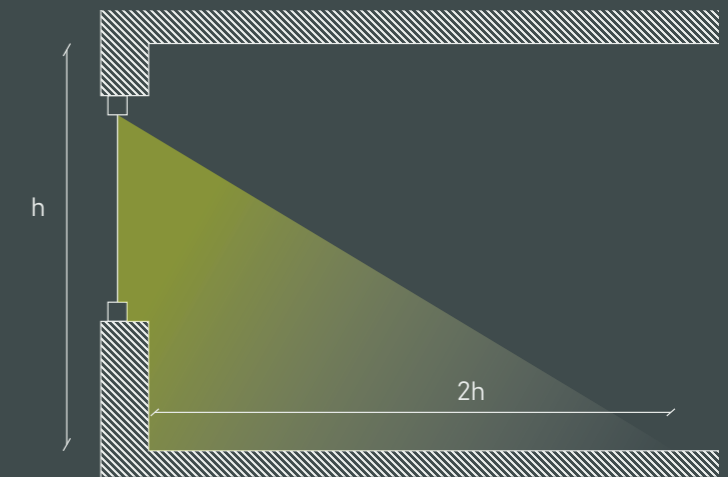
Tali regole sono però estremamente sommarie, perché considerano condizioni standard e ricorrenti, senza considerare il singolo caso e rischiano di essere forvianti se applicate senza contesto.<sup>25</sup> Esse, infatti, non tengono conto di aspetti fondamentali per la progettazione della luce naturale come il contesto, l'orientamento, il clima specifico della zona, il computo visivo richiesto ed il tipo di illuminazione che varia con la tipologia di cielo presente in un dato momento.

Le regole del pollice più conosciute sono:

- **"La regola del doppio"**, indica che l'illuminazione naturale all'interno di un edificio sarà significativa solo entro circa il doppio dell'altezza della stanza di una facciata con finestre laterali.
- **"La regola del 2.5"**, assume che la luce naturale proveniente da

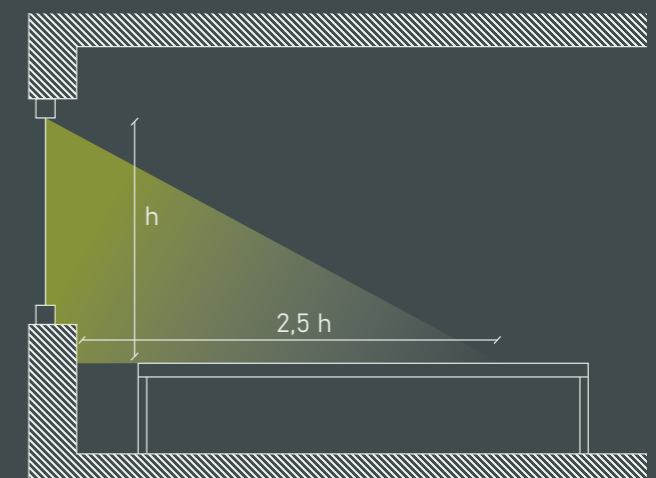
### "LA REGOLA DEL DOPPIO"

L'illuminazione naturale all'interno di un edificio sarà significativa solo entro circa il doppio dell'altezza della stanza di una facciata con finestre.



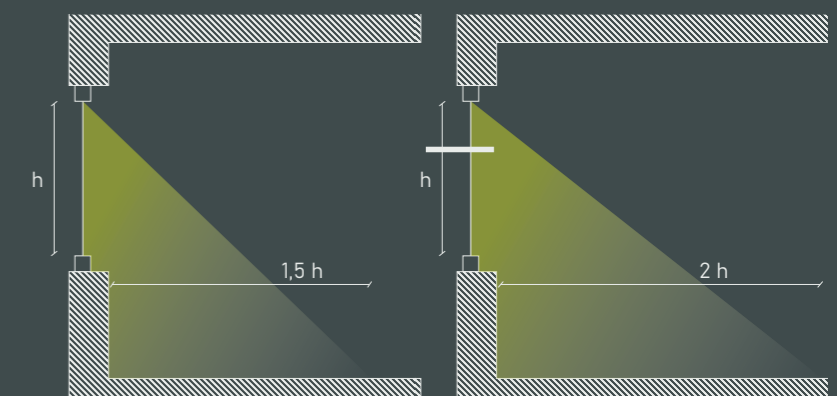
### "LA REGOLA DEL 2,5"

La profondità massima dell'area illuminata dalla luce naturale corrisponde a 2,5 volte la differenza tra l'altezza della parte superiore della finestra e l'altezza del piano di lavoro.



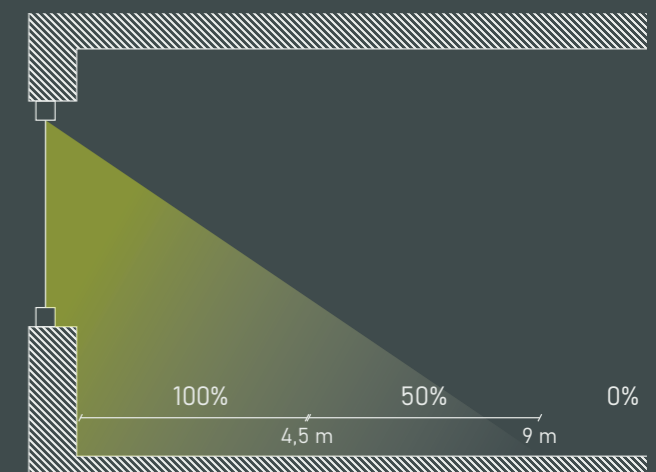
### "LA REGOLA DEL 1,5"

Una finestra standard può produrre un'illuminazione utile fino a una profondità pari a circa 1,5 volte l'altezza della finestra stessa. Con l'uso di ripiani luminosi o altri sistemi riflettenti, tale profondità può essere aumentata fino a 2,0 volte o più.



### LA REGOLA DEL 15/30

Entro 15 piedi ( $\approx 4,5$  m) dalla finestra si ha sufficiente illuminamento, nei successivi 15 piedi si ha il 50% del beneficio, oltre i 30 piedi ( $\approx 9$  m) non si ha beneficio.



<sup>25</sup> (Mansy, 2017)

finestre laterali illumini efficacemente fino a una profondità pari a 2,5 volte l'altezza dell'architrave della finestra rispetto al piano di lavoro.

- **“La regola del 1.5”**, evidenzia che una finestra standard può produrre un'illuminazione utile fino a una profondità pari a circa 1,5 volte l'altezza della finestra stessa. Con l'uso di ripiani luminosi o altri sistemi riflettenti, tale profondità può essere aumentata fino a 2,0 volte o più.<sup>26</sup>

- **“La regola 15/30”** (di provenienza statunitense), afferma che entro 15 piedi ( $\approx 4,5$  m) dalla finestra si ha sufficiente illuminamento, nei successivi 15 piedi si ha il 50% del beneficio, oltre i 30 piedi ( $\approx 9$  m) non si ha beneficio.

Tra le regole del pollice valide e conosciute ricordiamo anche altre soluzioni geometriche:

- **La No sky line**, la linea immaginaria sul piano di lavoro oltre la quale nessuna porzione di cielo è visibile dalla posizione dell'osservatore, a causa delle ostruzioni esterne.

- **Lo Sky angle**, è l'angolo verticale, espresso in gradi, sotteso dal cielo visibile visto dal centro della superficie vetrata verso l'esterno, limitato da eventuali ostruzioni.

- **Il Window to Flor Ratio (WFR) e Window to Wall Ratio (WWR)**, sono il rapporto tra l'area della finestra e rispettivamente l'area del pavimento e del muro (al netto della finestra) dell'ambiente analizzato.

- **Obstruction Factor (OF)**, un fattore che tiene conto delle ostruzioni esterne come edifici o vegetazione e varia in base alla percentuale di ostruzione della vista:

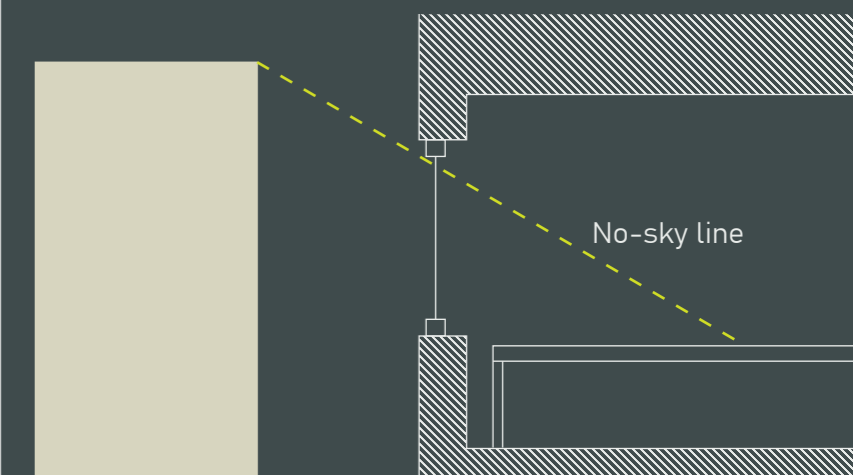
- $< 50\% \rightarrow OF = 1.0$
- $50 - 70\% \rightarrow OF = 0.85$
- $70 - 90\% \rightarrow OF = 0.65$
- $> 90\% \rightarrow OF = 0.40$

Nel 1989 i *Servizi Governativi per i Lavori Pubblici Canadesi (PWGSC)* introducono il concetto di *Adjusted Effective Aperture*

<sup>26</sup> (Reinhart, 2005)

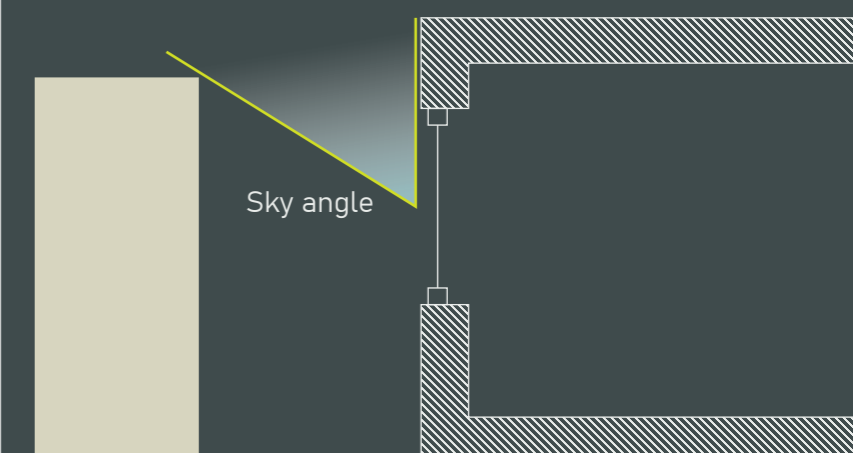
## NO SKY LINE

La linea immaginaria sul piano di lavoro oltre la quale nessuna porzione di cielo è visibile dalla posizione dell'osservatore, a causa delle ostruzioni esterne



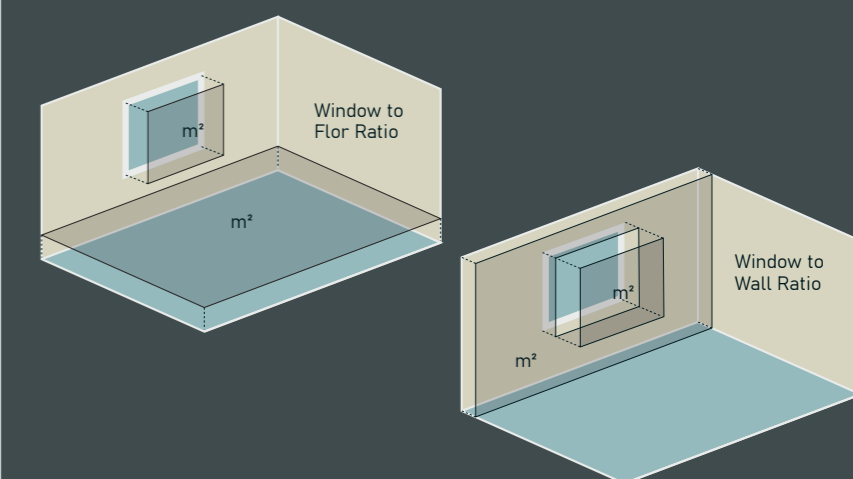
## SKY ANGLE

Angolo verticale, espresso in gradi, sotteso dal cielo visibile visto dal centro della superficie vetrata verso l'esterno, limitato da eventuali ostruzioni.



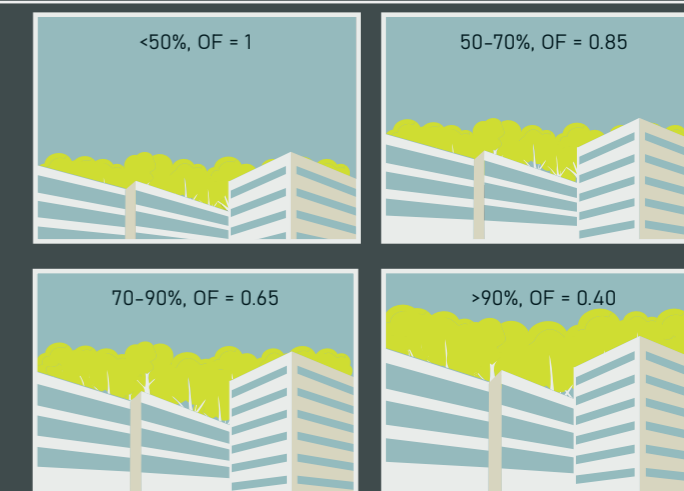
## WFR E WWR

Il Window to Flor Ratio (WFR) e il Window to Wall Ratio (WWR) sono il rapporto tra l'area della finestra e rispettivamente l'area del pavimento e del muro (al netto della finestra) dell'ambiente analizzato.



## OBSTRUCTION FACTOR

Fattore che tiene conto delle ostruzioni esterne come edifici o vegetazione e varia in base alla percentuale di ostruzione della vista



(*AEA*) per capire se una zona ha potenziale per essere illuminata naturalmente. Esso viene definito come:

$$AEA = WWR * \tau_{vis} * OF$$

dove:

- *Window to Wall Ratio (WWR)*,
- *Trasmittanza visibile media ( $\tau_{vis}$ ) del vetro*,
- *Obstruction Factor (OF)*.

Per risultare una zona dotata di potenziale per l'illuminazione naturale, il valore di *AEA* deve essere maggiore del *DFF*, ovvero il *Daylight Feasibility Factor*, tipicamente compreso tra 0.22 e 0.25. Se il requisito è rispettato, l'area può essere sottoposta ad ulteriori ed approfonditi calcoli illuminotecnici.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> (Reinhart & Lo Verso, 2010)

## 3.2

### IL DAYLIGHT FACTOR (DF) E IL FATTORE DI LUCE DIURNA MEDIO (FLD<sub>m</sub>)

Il termine *Daylight Factor* (in italiano *Fattore di Luce Diurna*) viene introdotto da *Percy J. Waldram* all'inizio del XX secolo, come risposta per quantificare l'illuminamento naturale in ambiente. Questa esigenza nasce da una società in crescente urbanizzazione con l'obiettivo di sancire delle linee guida per una progettazione che guardi alle tematiche sanitarie e di efficientamento energetico.

Percy J. Waldram lo definisce come *“rapporto percentuale tra l'illuminamento in un punto interno e l'illuminamento esterno sotto un cielo standardizzato, il CIE Standard Overcast Sky”*. Sebbene questa condizione di cielo non tenga in considerazione né la componente diretta della luce solare né la differenza del cielo rispetto alla località, consente di confrontare gli edifici indipendentemente dalle condizioni atmosferiche momentanee. Il *DF* venne diffuso dal *Building Research Establishment (BRE)* negli anni '30 e reso accessibile ai progettisti con metodi di calcolo pratici e tabelle, con l'obiettivo di ottenere una metrica oggettiva e razionale per la progettazione della luce diurna. Venne successivamente incorporato nelle normative edilizie britanniche come requisito minimo per diverse tipologie edilizie.<sup>28</sup>

Una recente definizione del **Daylight Factor (DF)** si può trovare nella normativa europea *EN 17037* in materia di *Luce naturale negli edifici* e cita la seguente definizione: *“Rapporto tra l'illuminamento in un punto su un dato piano, dovuto alla luce ricevuta direttamente o indirettamente da un cielo con distribuzione di luminanza assunta o nota, e l'illuminamento su un piano orizzontale dovuto a un emisfero non ostruito di questo cielo, escludendo il contributo della luce solare diretta a entrambi*

*gli illuminamenti.”*<sup>29</sup>

$$DF = E_i / E_o * 100 (\%)$$

Dove:

- $E_i$  = Illuminamento in un punto interno specifico (lux);
- $E_o$  = Illuminamento esterno su un piano orizzontale non ostruito (lux).

Il valore dell'illuminamento naturale in un determinato punto di un ambiente interno ( $E_i$ ) è dato dalla somma di quattro componenti:

- la **componente diretta ( $E_d$ )** che rappresenta la quantità di luce che giunge al punto direttamente senza alcuna riflessione, nel caso dello *Standard Overcast Sky* questa componente sarà ovviamente assente;
- la **sky component (SC)** ossia l'illuminamento derivante dalla volta celeste;
- la **componente riflessa esternamente ( $E_{r,e}$ )** dalle ostruzioni e dalle superfici esterne come terreno (chiamato anche albedo), alberi ed edifici;
- la **componente riflessa internamente ( $E_{r,i}$ )** dalle componenti interne dell'ambiente.

La normativa italiana sancisce come requisito obbligatorio per la progettazione illuminotecnica l'ottenimento del  $FLD_m > 2\%$ <sup>30</sup> (approfondimento Capitolo 4.1), dove  $FLD_m$  si intende *Fattore Medio di Luce Diurna* (o *mDF*, *Mean Daylight Factor*), ovvero la media dei valori di *DF* ottenuti su tutti i punti dell'ambiente considerato.

La formulazione del Mean Daylight Factor o Fattore Medio di Luce Diurna del *Building Research Establishment* viene definita come segue:

$$FLD_m = (A_{glazing} * \tau * \epsilon * \psi) / (A_{tot} * (1 * R_m))$$

<sup>28</sup> (Lewis, 2017)

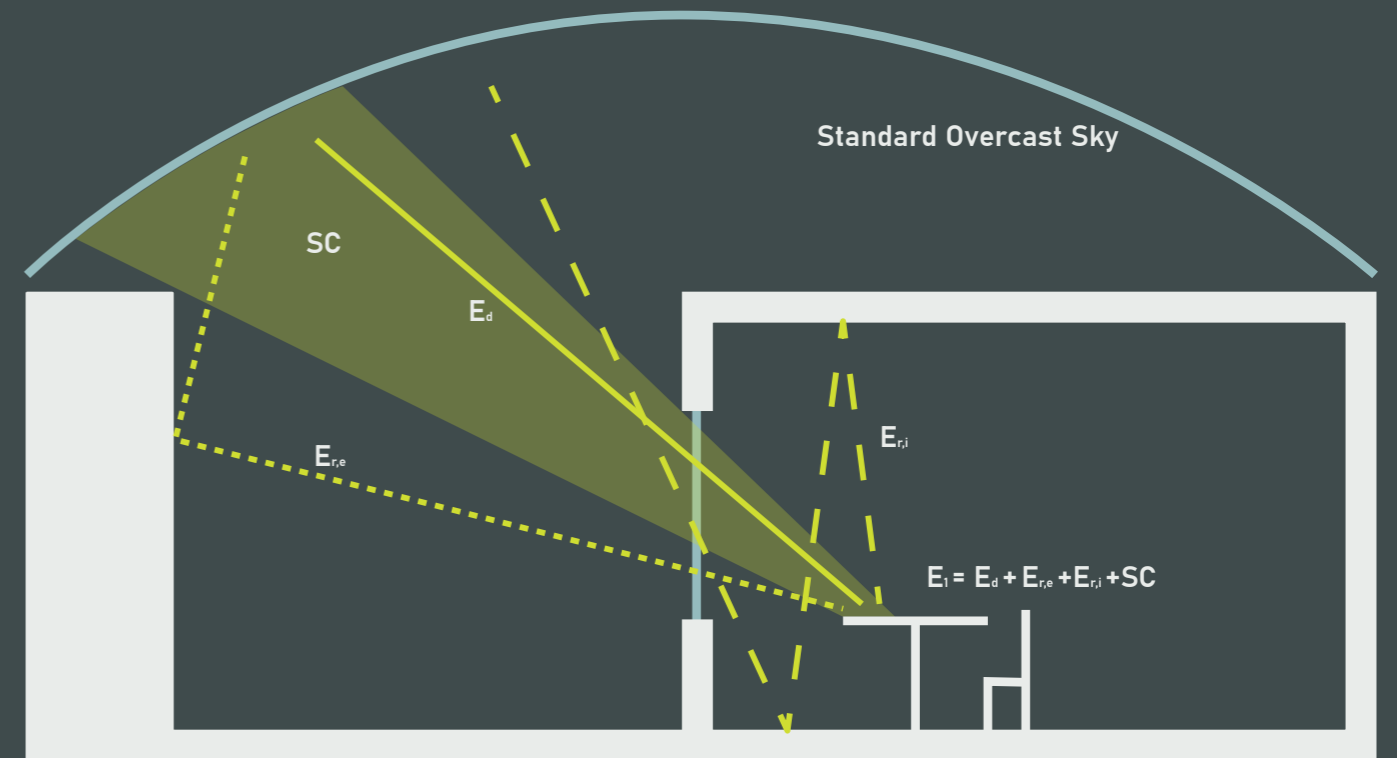
<sup>29</sup> (EN 17037:2021)  
<sup>30</sup> (Decreto Ministero Della Sanità 05-07-1975, 1975)

Dove:

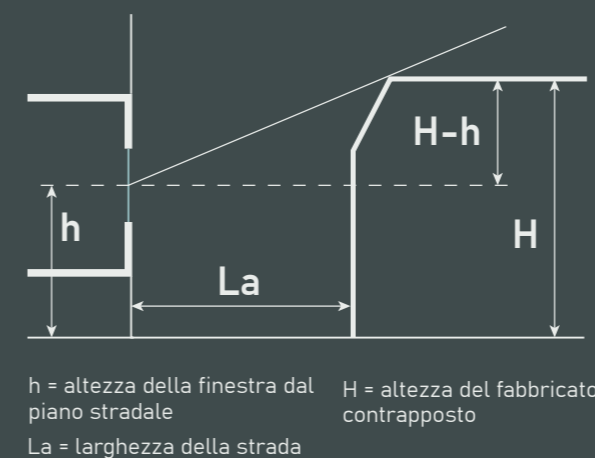
- $A_{glazing}$  è l'area netta della superficie vetrata (telaio escluso),
- $\tau$  è il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro,
- $\varepsilon$  è il fattore finestra (porzione di volta celeste visibile dal baricentro della finestra),
- $\psi$  invece è il fattore di riduzione della finestra dovuto all'incassamento del serramento rispetto al filo esterno della parete.
- $A_{tot}$  l'area totale di tutte le superfici interne
- $R_m$  la riflessione media delle superfici.

L'FLD<sub>m</sub> si dimostra dunque un parametro che dipende solo dalla geometria della stanza, dalla riflessione dei materiali delle finiture interne e dalla trasmissione del vetro. Vengono trascurati elementi importanti come l'orientamento, la componente diretta della luce solare, le condizioni di cielo e la dinamicità del sole nella volta celeste durante tutto l'anno. La scelta di utilizzo dello Standard Overcast Sky, sebbene permetta di confrontare edifici differenti e con condizioni eterogenee, non considera le importanti situazioni citate prima, che alterano le scene di luce nell'ambiente e le condizioni di illuminamento.

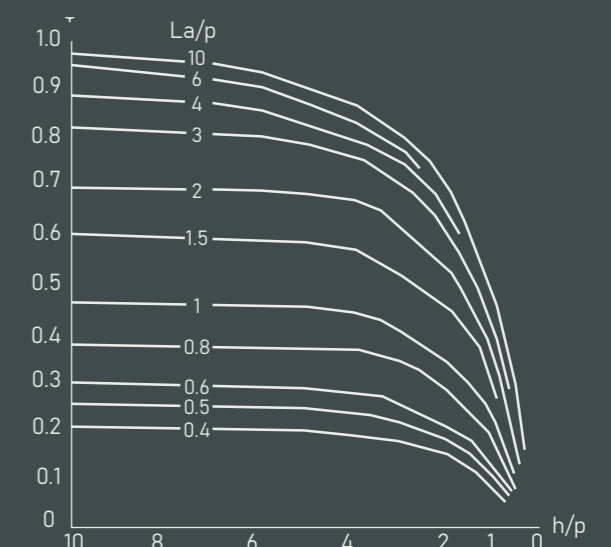
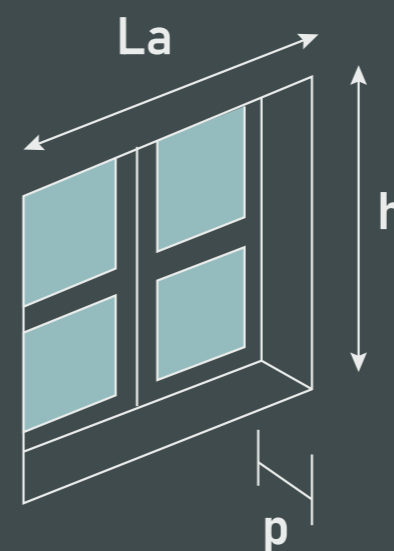
Sebbene queste mancanze siano ben note, il DF e il FLD<sub>m</sub> si considerano tutt'oggi gli strumenti di progettazione della luce naturale più diffusi e punti di partenza per il calcolo delle metriche più recenti.



9: Componenti protagoniste dell'illuminamento naturale in un punto - Elaborazione grafica personale



Indicazioni per il calcolo del fattore finestra  $\varepsilon$



Indicazioni per il calcolo del fattore di riduzione della finestra  $\psi$

## 3.3

### LE METRICHE DI CALCOLO CLIMATE BASED (CBDM)

Negli ultimi anni, il *Climate-Based Daylight Modelling (CBDM)* si è affermato come uno degli strumenti più avanzati per la valutazione della luce naturale negli edifici. A differenza dei metodi tradizionali, come il *Daylight Factor*, che si basano su condizioni statiche e standardizzate (cielo coperto CIE), il *CBDM* utilizza dati climatici contenuti in file meteorologici per simulare il comportamento dinamico della luce solare e della luminanza del cielo nell'arco dell'intero anno. Questo approccio consente di ottenere una valutazione più realistica e accurata della disponibilità di luce diurna, strettamente legata al contesto climatico locale.

Le metriche *CBDM* permettono di quantificare percentuali di tempo e di spazio e di spazio in cui gli ambienti interni raggiungono livelli di illuminamento target. In tal modo, il calcolo non restituisce un unico valore sintetico, ma un insieme di informazioni cumulative e statistiche sul comportamento della luce diurna lungo le diverse stagioni.<sup>31, 32</sup>

Queste implicazioni comportano accorgimenti dal punto di vista della modellazione: il *CBDM* richiede una rappresentazione più accurata e dettagliata del modello architettonico, che tenga conto non solo della geometria dell'ambiente, ma anche delle proprietà ottiche dei materiali, della presenza del contesto e dei dispositivi di schermatura solare. Ciò consente di valutare con maggiore precisione l'impatto di soluzioni progettuali quali frangisole, tende o la presenza di un determinato contesto sia in termini di apporto di luce naturale che di comfort visivo. Sul piano dell'orientamento, le simulazioni *CBDM* offrono un punto di svolta fondamentale, in quanto consentono di confrontare in modo oggettivo le prestazioni delle diverse esposizioni e aperture,

bilanciando i benefici in termini di disponibilità di luce naturale e vista verso l'esterno con i rischi legati a fenomeni indesiderati come abbagliamento o eccessivo irraggiamento solare.

Le simulazioni su base climatica *CBDM* si svolgono di diverse fasi.

#### 1. Costruzione del modello

La fase iniziale consiste nella realizzazione del modello geometrico dell'edificio o dello spazio da analizzare. È necessario che la rappresentazione sia sufficientemente accurata da includere non solo le proporzioni generali, ma anche la posizione e le dimensioni delle aperture, la profondità delle pareti, eventuali aggetti e dettagli costruttivi che possono influire sull'ingresso e sulla distribuzione della luce naturale. L'affidabilità dei risultati dipende in larga misura dalla precisione del modello di partenza, è quindi consigliato, se possibile, provare ad inserire anche gli arredi fissi (armadi, mobili, tavoli, ...) presenti nell'ambiente in cui svolgere la simulazione.

#### 2. Caratterizzazione delle proprietà ottiche dei materiali trasparenti e opachi

Una volta costruito il modello, è indispensabile attribuire le proprietà ottiche ai materiali. Per i componenti trasparenti (vetri, policarbonati, ecc.) si definiscono parametri come trasmittanza, riflettanza e diffusione della radiazione luminosa, mentre per le superfici opache (pareti, pavimenti, soffitti) è cruciale indicare la riflettanza e, quando necessario, la rugosità o la capacità di diffusione. Questi valori condizionano la propagazione della luce all'interno degli ambienti e determinano fenomeni come riflessioni multiple e distribuzioni spaziali di luminanza.

Un altro parametro da impostare riguardo la riflessione della luce in ambiente è l'ambient bounce, ossia il numero di riflessioni diffuse che un raggio luminoso compie sulle superfici opache calcolati tramite un calcolo indiretto.

#### 3. Caratterizzazione dei sistemi schermanti e relativo profilo d'uso

I sistemi di schermatura, fissi o mobili (frangisole, tende, veneziane, brise-soleil, ecc.), devono essere modellati in termini geometrici e ottici. Nel caso di dispositivi mobili è fondamentale

<sup>31</sup> (Mardaljevic, 2000)

<sup>32</sup> (Reinhart & Herkel, 2000)

definire un profilo d'uso che specifichi le modalità e i tempi di attivazione (manuale o automatizzata). Questa caratterizzazione consente di valutare l'effetto dinamico delle schermature sul comfort visivo, sulla protezione dall'abbagliamento e sulla riduzione dei guadagni solari indesiderati.

4. Caratterizzazione del contesto

La luce diurna disponibile non dipende soltanto dall'edificio analizzato, ma anche dal suo intorno. In questa fase si modellano le ostruzioni esterne, come edifici vicini, alberi o elementi urbani, che possono proiettare ombre o riflettere luce verso le superfici vetrate. La corretta rappresentazione del contesto assicura che la simulazione restituisca un quadro realistico dell'interazione tra l'edificio e il tessuto urbano o paesaggistico circostante.

5. Caratterizzazione delle condizioni climatiche e di illuminazione esterna

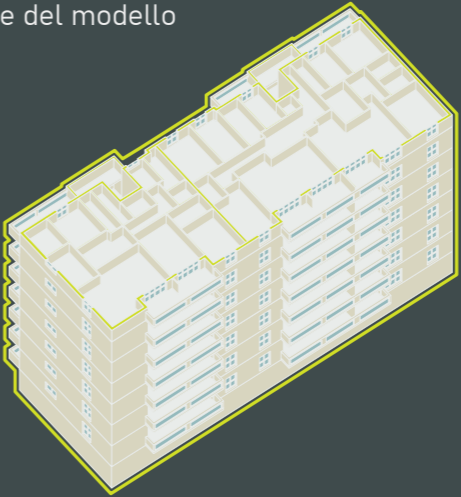
Le simulazioni CBDM si basano su file meteorologici (EPW – EnergyPlus Weather File) corrispondenti all'area geografica del progetto che permette la lettura delle condizioni climatiche e di cielo per ognuna delle 8760 ore annuali.

I file EPW sono file meteorologici in formato testuale sviluppati per essere utilizzati all'interno di software di simulazione energetica, in particolare EnergyPlus. La loro funzione è quella di fornire al modello di calcolo le condizioni climatiche locali che influenzano direttamente i fabbisogni energetici di un edificio e il suo comportamento termo-illuminotecnico.

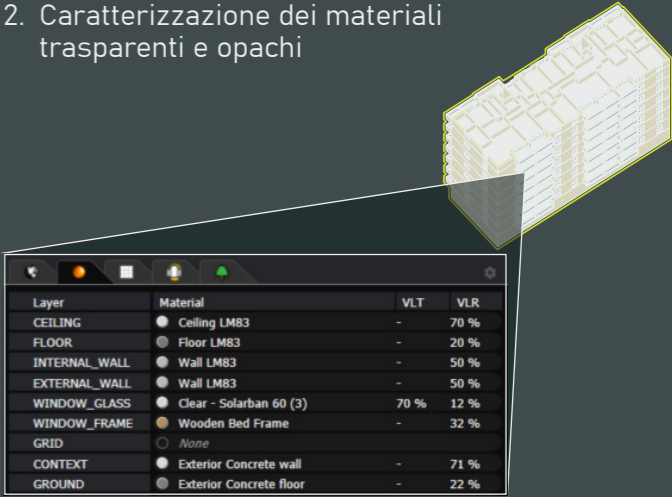
Essi permettono infatti di rappresentare dati sub-orari (grazie al campo “minuti”) e includono variabili come la radiazione solare extraterrestre, la luminanza, la copertura nuvolosa e le osservazioni sullo stato del cielo e delle precipitazioni.

La struttura del file si compone di due parti principali. La prima è l'header, costituito da otto righe che riportano le informazioni statiche necessarie all'interpretazione del dataset: localizzazione geografica (latitudine, longitudine, altitudine, fuso orario), condizioni di progetto, periodi tipici ed estremi, valori medi delle temperature del suolo, festività e periodi di ora legale, oltre a commenti descrittivi e all'indicazione del periodo coperto dai dati. La seconda parte è invece dedicata ai dati

1. Costruzione del modello



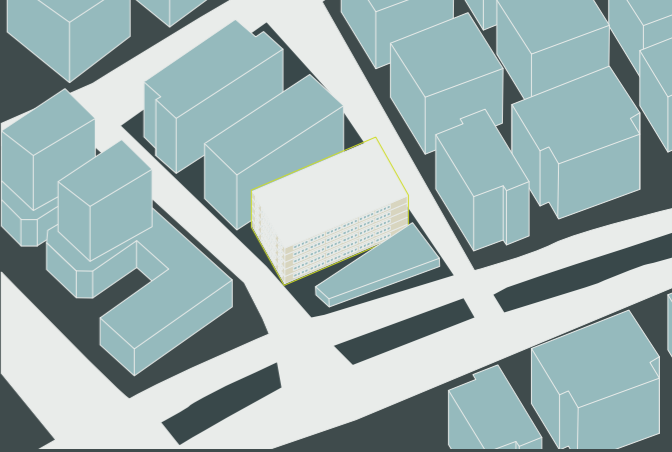
2. Caratterizzazione dei materiali trasparenti e opachi



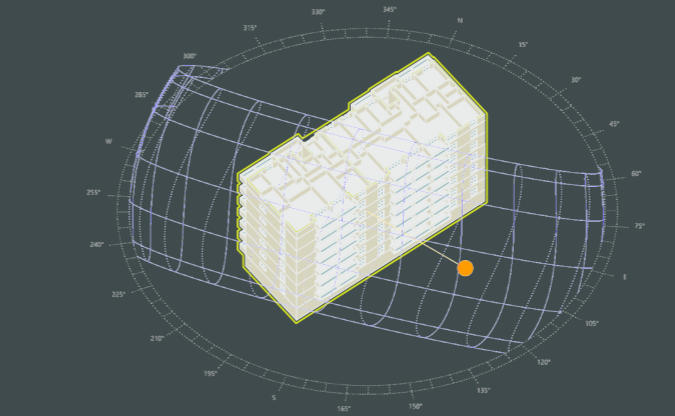
3. Caratterizzazione dei sistemi schermanti e dei profili d'uso



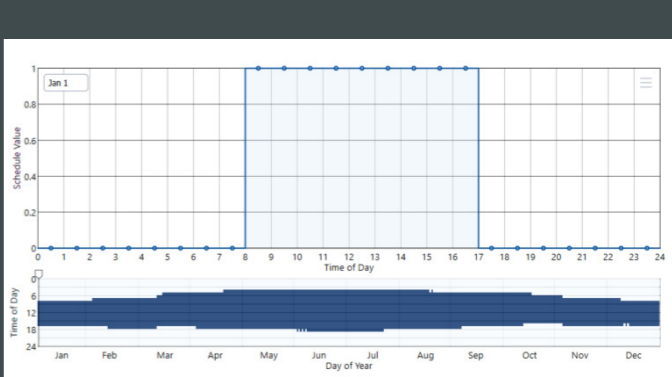
4. Caratterizzazione del contesto



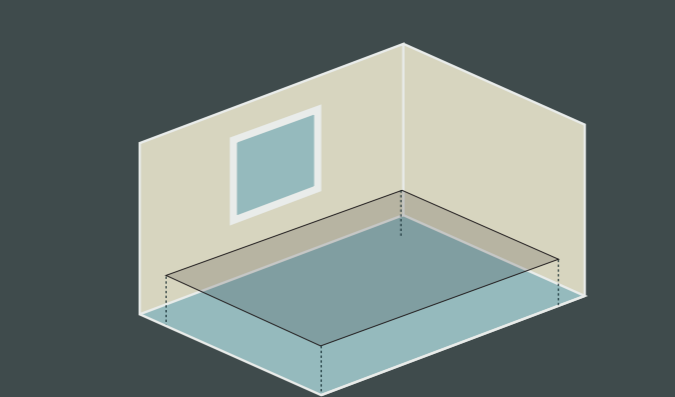
5. Caratterizzazione delle condizioni climatiche e di illuminazione esterna



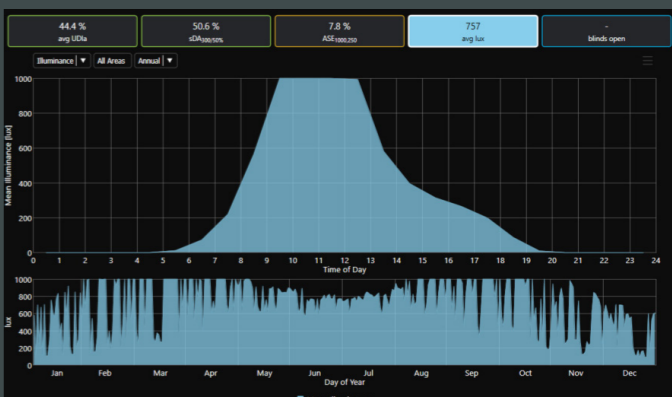
6. Definizione del profilo temporale di calcolo delle metriche



7. Definizione delle superfici di calcolo



8. Simulazione



10: Fasi principali di una simulazione CBDM - Elaborazioni grafiche personali

climatici temporali, organizzati riga per riga in corrispondenza di ciascun passo temporale (di norma orario, ma con possibilità di estendersi a intervalli inferiori). Le variabili comprendono, tra le altre, la radiazione solare (globale, diretta, diffusa, infrarossa ed extraterrestre), la luminanza, la copertura nuvolosa, la visibilità e la quantità di precipitazioni.

Durante la simulazione, EnergyPlus utilizza i dati contenuti nel file EPW come condizioni al contorno per calcolare parametri fondamentali quali i carichi termici, i fabbisogni energetici e i livelli di illuminazione naturale. Il formato è stato inoltre concepito per garantire robustezza: in caso di valori mancanti o anomali, vengono applicate regole di sostituzione con valori convenzionali o con l'ultimo dato valido, evitando l'interruzione del processo di calcolo.

#### 6. Definizione del profilo temporale di calcolo delle metriche

In questa fase si stabilisce la risoluzione temporale della simulazione (generalmente oraria, con possibilità di intervalli più brevi) e il periodo di riferimento (solitamente l'intero anno solare). Le metriche CBDM sono infatti valori cumulativi e statistici che richiedono la valutazione su un ampio arco temporale per restituire un quadro realistico della disponibilità di luce naturale.

#### 7. Definizione delle superfici di calcolo

Infine, vengono individuate le superfici utili ed i relativi punti di calcolo all'interno dell'ambiente, scelti in funzione del parametro da analizzare. Alcune metriche, per esempio, vengono calcolate su un piano orizzontale all'altezza dell'occhio umano (generalmente in posizione seduta a 1,2 m di altezza) ed altre su un piano di lavoro tipo scrivania o tavolo (a circa 0,85 m di altezza), mentre altre ancora hanno bisogno di un piano verticale per lo svolgimento del calcolo.

#### 8. Simulazione

Questa fase rappresenta l'esecuzione vera e propria del calcolo, in cui il software di simulazione (vedi Capitolo 6.2 per approfondimento) elabora tutti i dati precedentemente definiti: geometria, materiali, sistemi schermanti, contesto, file climatico, griglie di calcolo. Il processo genera un grande volume di dati orari o sub-orari (fino a 8760 valori annui per ciascun punto

di calcolo), che, per quanto riguarda la parte di simulazione del daylight, sono valori di illuminamenti diretti, illuminamenti indiretti, luminanze delle superfici e anche valori spettrali dovuti alla luce naturale. Tali dati vengono successivamente aggregati in metriche cumulative e statistiche e presentati come output.

Le metriche CBDM più diffuse sono: *sDA* (*Spatial Daylight Autonomy*), *ASE* (*Annual Sunlight Exposure*), *UDI* (*Useful Daylight Illuminance*) e *DGP* (*Daylight Glare Probability*) e verranno approfondite nel paragrafo successivo.

La maggiore aderenza alla realtà rende le metriche CBDM lo strumento di riferimento nei più aggiornati protocolli di sostenibilità ambientale e comfort visivo, come *LEED v4*, *WELL Building Standard* e *BREEAM*, che ne prescrivono l'uso nei criteri di progettazione e certificazione. Sebbene richiedano una modellazione più complessa e un uso mirato di software di simulazione, i benefici in termini di affidabilità e precisione rendono le CBDM imprescindibili nella progettazione contemporanea orientata alla qualità ambientale.

### 3.3.1 Spatial Daylight Autonomy (sDA)

Per comprendere la prima metrica CBDM affrontata bisogna introdurre il concetto di **Daylight Autonomy (DA)**.

La **Daylight Autonomy (DA)** è dunque una *“metrica che indica la percentuale di tempo in cui un punto riceve un livello di illuminazione superiore ad un valore target dalla sola luce naturale, senza bisogno di illuminazione artificiale”*. In pratica, misura quanto un ambiente è “autosufficiente” dal punto di vista della luce naturale.

Secondo l'*IES* (*Illuminating Engineering Society*) la **Spatial Daylight Autonomy (sDA)** è definita come una *“percentuale di un'area di analisi che raggiunge un determinato valore soglia di illuminamento diurno per una specifica frazione di tempo all'interno del periodo annuale di analisi considerato.”*<sup>33</sup> Il calcolo della sDA richiede che l'illuminamento diurno orario venga determinato in ciascun punto di analisi durante tutto

<sup>33</sup> (Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), 2023)

l'anno, con l'utilizzo delle schermature solari (tende o veneziane) gestite secondo un algoritmo prestabilito.

L'sDA di fatto viene calcolata come una media percentuale di tutti i punti della griglia in cui il valore del Daylight Autonomy (DA) supera il valore soglia (300 lux per il 50 % delle ore).

Di fatto la sDA introduce la componente spaziale, che rende la metrica confrontabile con le dimensioni e la forma dell'ambiente in cui è calcolata, senza limitarsi al singolo punto.

La sDA è quindi una metrica che vuole dare un'informazione sulla quantità di luce naturale presente in ambiente sopra un determinato valore soglia, ma anche sull'uniformità di illuminamento dello stesso.

### 3.3.2 Annual Sunlight Exposure (ASE)

La definizione di l'**Annual Sunlight Exposure (ASE)** secondo l'IES è la *"percentuale di un'area di analisi che riceverebbe più di 250 ore di luce solare diretta all'anno, prima dell'attivazione delle schermature solari"*<sup>34</sup>

Questa metrica vuole dare un'informazione sulla quantità di luce diretta che colpisce la superficie orizzontale interna di riferimento durante l'anno, per evidenziare un eventuale discomfort dato dalla troppa luce diretta. Per questo motivo si imposta una soglia di 1000 lux per 250 h l'anno, che sono ritenuti sufficienti per provocare discomfort all'utente.

### 3.3.3 Useful Daylight Illuminance (UDI)

La **Useful Daylight Illuminance (UDI)** è una metrica introdotta nel 2005 da Nabil & Mardaljevic che indica *"la percentuale di tempo in cui un punto interno riceve un livello di illuminamento considerato utile per lo svolgimento delle attività visive, senza bisogno di luce artificiale né con eccesso di luce indesiderata"*.<sup>35</sup>

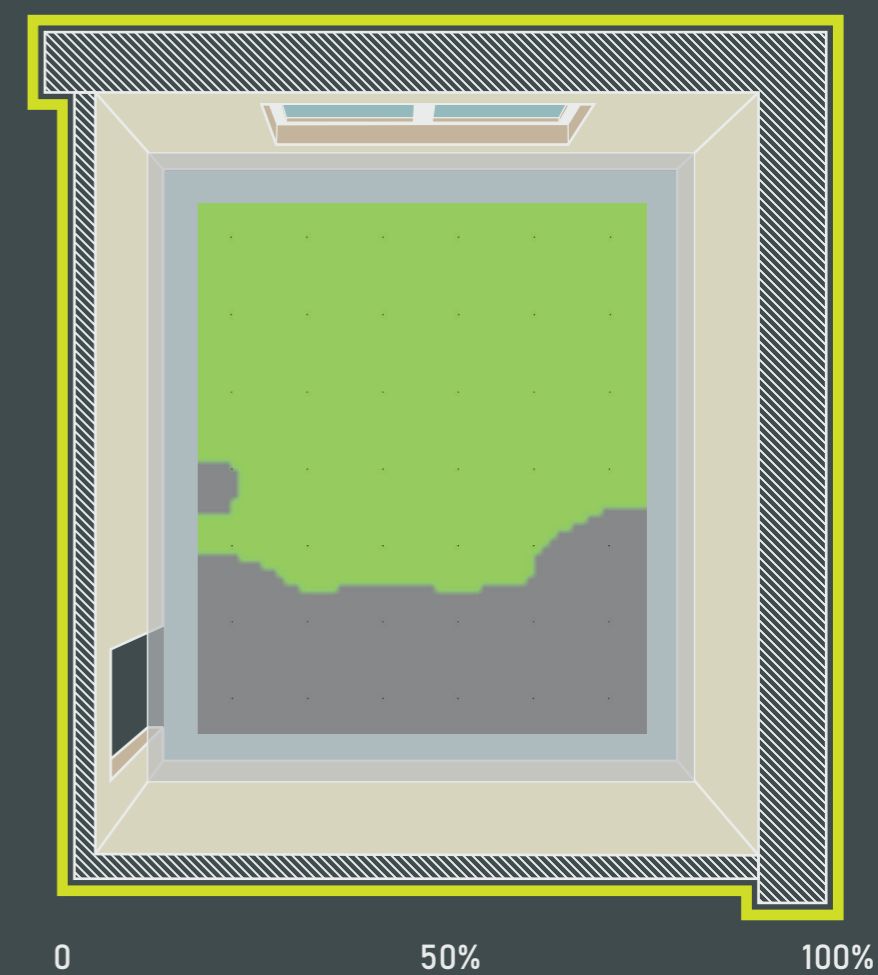
A fronte di indagini comportamentali e sulla percezione degli utenti, sono stati fissati i valori soglia dell'illuminamento utile: 100 lx come valore inferiore, al di sotto del quale non si riesce a svolgere alcun compito visivo, né a percepire l'ambiente circostante e 3000 lx come valore superiore, al di sopra del quale si producono condizioni di discomfort visivo e aumenta la

<sup>34</sup> (Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (SDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), 2023)

<sup>35</sup> (Nabil & Mardaljevic, 2006)

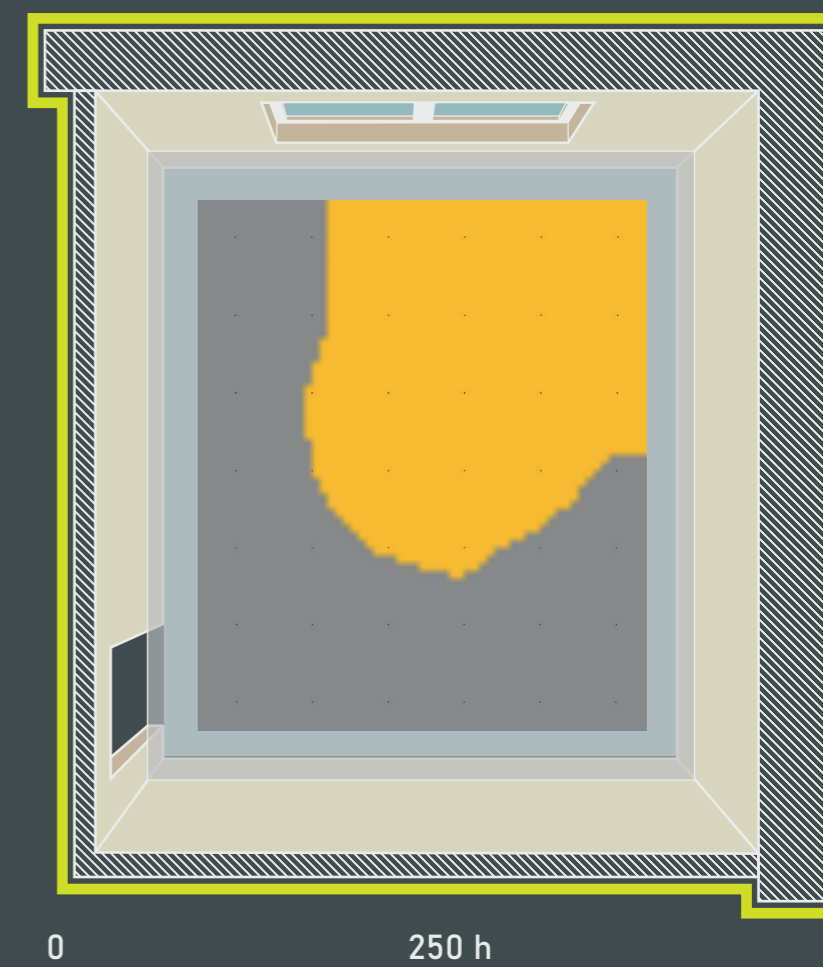
#### SPATIAL DAYLIGHT AUTONOMY

11: Schema rappresentativo  
Spatial Daylight Autonomy -  
Elaborazione grafica personale



#### ANNUAL SUNLIGHT EXPOSURE

12: Schema rappresentativo  
Annual Sunlight Exposure -  
Elaborazione grafica personale



temperatura dell'ambiente.

L'illuminamento naturale compreso tra queste due soglie prende il nome di **"UDI autonomus" (UDI<sub>A</sub>)**, ideale per svolgere la maggior parte dei compiti visivi e dunque obiettivo del progettista. Al di sotto dei 100 lx si parla di **"UDI supplementary" (UDI<sub>SUP</sub>)**, poiché l'ambiente necessita dell'integrazione dell'illuminazione artificiale, mentre al di sopra dei 3000 lx parliamo di **"UDI exceed" (UDI<sub>EX</sub>)** e risulta eccessivo e poco tollerabile.

### 3.3.4 Daylight Glare Probability (DGP)

La **Daylight Glare Probability (DGP)** è una metrica nata nel 2006 da Wienold, J., e Christoffersen, J., che valuta la *"percentuale di utenti disturbati da una condizione di abbagliamento da luce naturale."* Questa metrica vuole misurare qual è la probabilità che un occupante sia abbagliato dalla luce naturale. Essa viene calcolata all'altezza dell'occhio, tenendo in considerazione un determinato numero di direzioni orizzontali in cui un occupante si può rivolgere.<sup>36</sup>

Il valore del DGP dipende dalla luminanza delle sorgenti di abbagliamento (sole, cielo lucente, superfici riflettenti) e dalla luminanza dello sfondo.

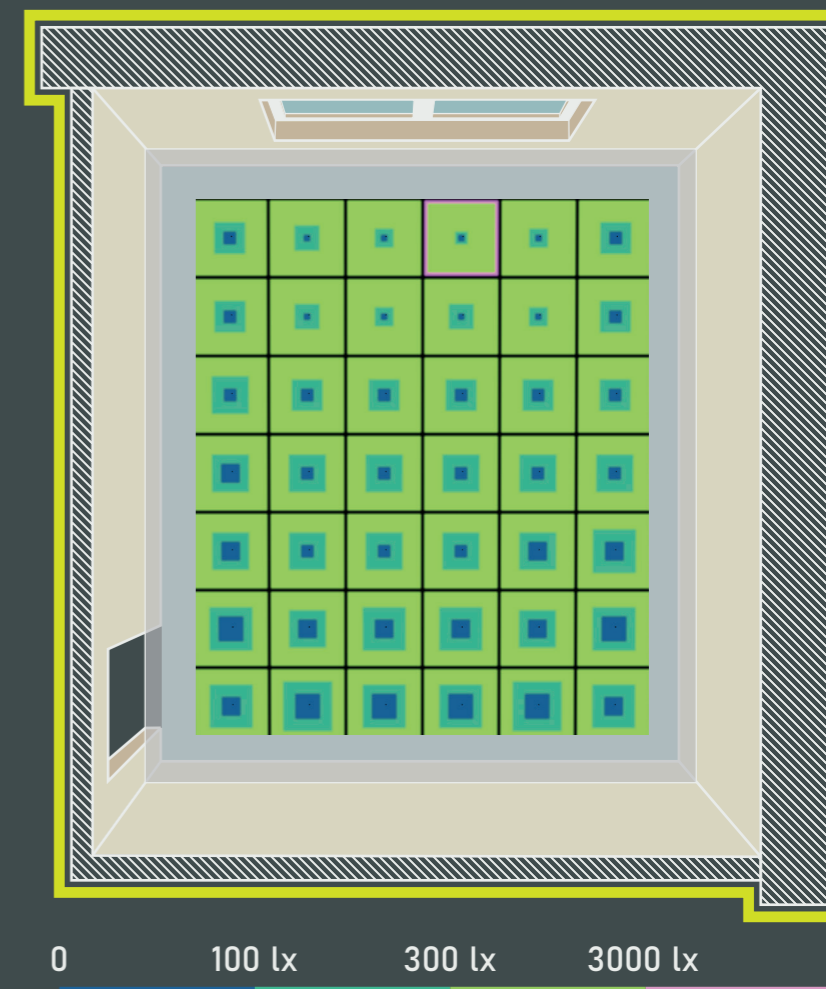
Il valore risultante di DGP varia da 0 a 1 ed individua una determinata intensità di abbagliamento:

- < 0.35 = Abbagliamento nullo,
- 0.35 – 0.40 = Abbagliamento percepito,
- 0.40 – 0.45 = Abbagliamento disturbante,
- > 0.45 = Abbagliamento intollerabile.

<sup>36</sup> (Wienold & Christoffersen, 2006)

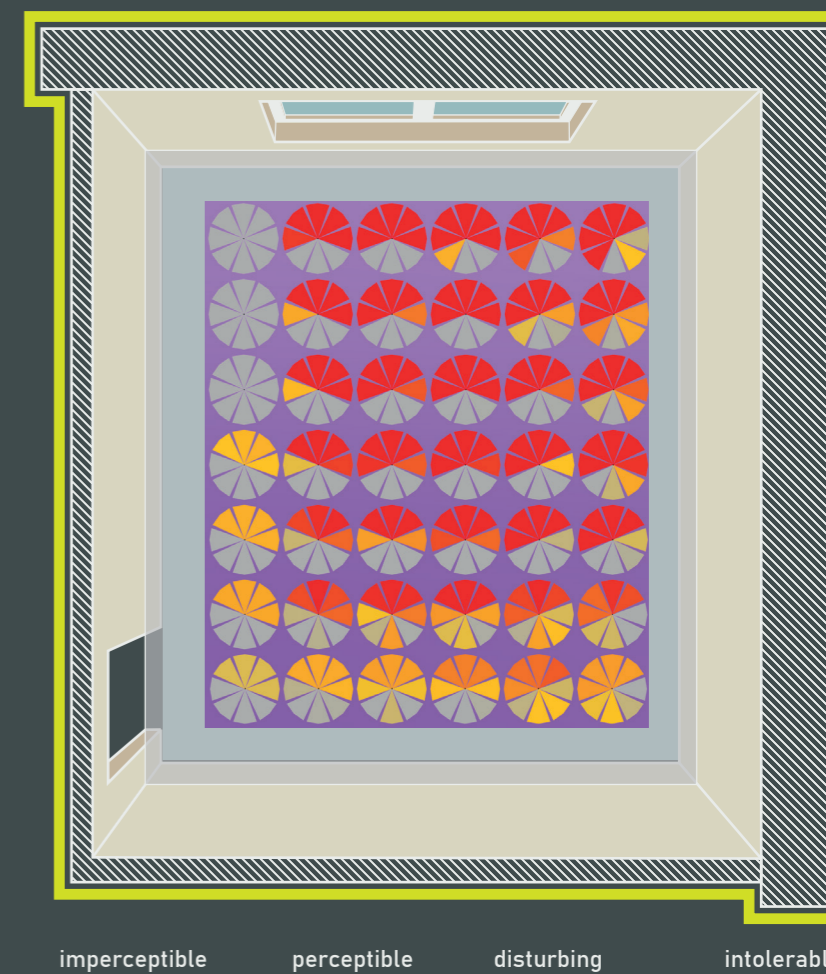
#### USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE

13: Schema rappresentativo  
Useful Daylight Illuminance -  
Elaborazione grafica personale



#### DAYLIGHT GLARE PROBABILITY

14: Schema rappresentativo  
Daylight Glare Probability -  
Elaborazione grafica personale



## CAPITOLO

# 4

### L'APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE NEGLI EDIFICI: I RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

4.1 La legislazione nazionale

4.2 Il quadro tecnico normativo

4.3 I protocolli di certificazione

Il tema della luce naturale nella progettazione architettonica è attualmente affrontato, in modo più o meno diretto, da un insieme eterogeneo di riferimenti che spaziano dalla legislazione italiana alle normative tecniche, fino ai protocolli di certificazione volontaria. Questo capitolo ricostruisce tale quadro di riferimento, mettendo in relazione disposizioni nate con finalità diverse e mostrando come ciascuna contribuisca a definire le aspettative progettuali di daylighting. L'obiettivo non è solo delineare le basi normative che regolano l'accesso alla luce naturale negli edifici, ma anche evidenziare sovrapposizioni, incoerenze o mancanze che ancora caratterizzano questo ambito. Tale ricognizione consente di comprendere meglio il contesto entro cui si colloca la UNI EN 17037, che verrà analizzata criticamente nel capitolo successivo.

# 4.1

## LA LEGISLAZIONE NAZIONALE

Nel contesto della normativa italiana sull'edilizia, la questione della luce naturale ha assunto un ruolo centrale in relazione alla salubrità e all'abitabilità degli ambienti. Sebbene le disposizioni più recenti siano oggi affidate alle norme UNI e alle direttive europee, già a partire dagli anni '60 la legislazione italiana aveva riconosciuto l'importanza dell'illuminazione naturale, inserendola tra i requisiti essenziali per garantire condizioni igienico-sanitarie adeguate. Va sottolineato che i primi riferimenti normativi in Italia che contengono indicazioni riguardanti la luce naturale non nascono per definire la progettazione della stessa, ma per garantire la circolazione dell'aria e l'igiene. Ne derivano dunque dei documenti normativi che non sono direttamente esaustivi per il tema del daylight, ma che comunque contribuiscono al suo sviluppo storico e normativo.

Uno dei primi e più rilevanti riferimenti in tal senso è rappresentato dalla *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3151*<sup>37</sup> del 22 maggio 1967, che fornisce istruzioni operative sull'applicazione delle norme igienico-sanitarie nei progetti edilizi. Questo documento introduce un principio chiave che rimarrà a lungo un riferimento progettuale: il **Rapporto Aero Illuminante** minimo di **1/8 (RAI)**, ossia l'obbligo che la superficie finestrata apribile verso l'esterno sia almeno pari a un ottavo della superficie del pavimento del locale.

Tale prescrizione, seppur priva di approfondimenti tecnici sull'intensità della luce naturale e sull'orientamento, rappresenta un primo tentativo di regolamentazione quantitativa, ancora oggi ampiamente citato nei regolamenti edilizi comunali, vista la sua versatilità.

<sup>37</sup> (Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 22 maggio 1967)

Inoltre, in questa circolare viene introdotto il **Fattore Medio di Luce Diurna FLD<sub>m</sub>** e ne viene illustrata la metodologia di calcolo. Infine, viene richiesta una protezione per le superfici vetrate attraverso schermature mobili, esterne e ventilate capaci di ridurre di almeno il 70% il flusso termico totale in ingresso. Una seconda schermatura, fissa o mobile, è da predisporre nell'area vetrata non interessata dalla prima schermatura in modo da ridurre l'irraggiamento solare almeno dell'80%.

All'interno della *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 13011*<sup>38</sup> del 22 novembre 1974 relativa all'edilizia ospedaliera, viene ulteriormente chiarito il ruolo e l'importanza dei sistemi schermanti esterni, in particolare quando questi sono progettati per essere ventilati. La circolare specifica che tali dispositivi devono essere in grado di consentire il passaggio di almeno il 30% del flusso termico generato dall'irraggiamento solare diretto, assicurando così un equilibrio tra schermatura solare e apporto energetico utile. Questa indicazione riflette la volontà di integrare il controllo solare passivo nella progettazione edilizia, anticipando concetti oggi centrali nella progettazione bioclimatica.

Un aspetto di rilievo affrontato nella stessa circolare riguarda i **livelli minimi di illuminamento**, sia naturale sia artificiale, stabiliti in funzione della tipologia di ambiente e della relativa destinazione d'uso. Per garantire condizioni visive adeguate, vengono indicati valori minimi espressi in lux, che rappresentano le soglie di riferimento da raggiungere anche in condizioni di cielo sfavorevoli, eventualmente integrando con luce artificiale. Nel dettaglio, **per attività che richiedono precisione e accuratezza visiva**, come il lavoro su scrivania o le operazioni mediche, è necessario garantire un livello minimo di **300 lux**. In **ambienti destinati alla lettura** o ai **laboratori tecnici negli uffici**, il valore minimo scende a **200 lux**, ritenuti comunque sufficienti per le funzioni previste. Gli **spazi per riunioni** e le **sale ginniche** devono garantire almeno **100 lux**, misurati ad un'altezza di 60 cm dal piano di calpestio, mentre per le **zone di servizio** – quali corridoi, scale, disimpegni e servizi igienici – il requisito minimo è pari a **80 lux**, da verificare ad un metro dal pavimento.

<sup>38</sup> (Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 22 novembre 1974)

Oltre alla quantità di luce, la circolare richiama l'attenzione anche sulla qualità dell'illuminazione, in particolare per quanto riguarda la **prevenzione dell'abbagliamento**. A tal fine, viene indicato che l'intensità massima luminosa presente all'interno dell'ambiente non dovrebbe superare di oltre 20 volte i valori medi di illuminamento, al fine di garantire un comfort visivo uniforme ed evitare affaticamento o disturbi visivi.

Un altro parametro significativo riportato nel documento sono i **valori minimi richiesti di FLD<sub>m</sub>** in base alla funzione degli spazi: si richiede un valore pari almeno a 3% nei laboratori, ambienti di degenza e locali diagnostici, un valore di 2% per palestre e refettori, e un minimo di 1% per ambienti destinati a uffici e distribuzione interna

Su questa stessa linea si colloca il successivo *Decreto Ministeriale 5 luglio 1975 - Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione*<sup>39</sup> che, oltre a confermare il requisito del rapporto aeroilluminante minimo, sancisce per la prima volta che tutti i locali destinati alla permanenza di persone (come camere da letto, soggiorni, cucine abitabili) devono essere illuminati e ventilati naturalmente, attraverso aperture verso spazi esterni e rispettare un valore minimo di FLD<sub>m</sub>.

Come citato dall'articolo 5:

*"Tutti i locali degli alloggi, tranne vani scala, ripostigli, [...] devono fruire di illuminazione naturale diretta adeguata alla destinazione d'uso. [...] L'ampiezza delle finestre deve essere proporzionata in modo da assicurare un valore del **Fattore Medio di Luce Diurna non inferiore al 2% (0.02)** e comunque la superficie finestrata apribile non dovrà essere inferiore ad 1/8 della superficie del pavimento."*

La possibilità di escludere la luce naturale è concessa solo per locali accessori, come bagni o disimpegni, a condizione che siano dotati di sistemi di ventilazione artificiale adeguati. L'intento normativo è chiaro: garantire il più possibile condizioni di vivibilità basate su fattori naturali, come l'illuminazione diurna e il ricambio d'aria.

Un'attenzione ancor più marcata alla qualità dell'ambiente interno si ritrova nel *Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975*<sup>40</sup>, relativo alle norme tecniche per l'edilizia scolastica. Qui l'illuminazione naturale è considerata non solo sotto il profilo igienico, ma anche in funzione del comfort visivo e della qualità dell'apprendimento. Gli ambienti destinati ad aule scolastiche devono presentare un **orientamento** tale da massimizzare la disponibilità di luce diurna, evitando al contempo l'**abbagliamento diretto**. Inoltre, si sottolinea l'importanza della **vista verso l'esterno**, elemento oggi ritenuto fondamentale per il benessere psicofisico. Questa visione anticipa in parte i principi delle più recenti normative europee, che affrontano l'illuminazione naturale come parametro qualitativo legato al comfort ambientale.

A coronamento di questi riferimenti, il *D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380*<sup>41</sup> (noto come *Testo Unico dell'Edilizia*) raccoglie e sistematizza le principali disposizioni legislative e regolamentari in ambito edilizio. Pur non entrando nel merito dei valori tecnici legati alla luce naturale, questo decreto stabilisce che ogni intervento edilizio debba rispettare i **requisiti di abitabilità, salubrità e igiene**, rinviando esplicitamente ai regolamenti edilizi locali e alle normative sanitarie vigenti. In molti casi, tali regolamenti richiamano direttamente i principi già espressi nella Circolare del 1967 e nel DM del 1975, oppure si aggiornano facendo riferimento alle norme UNI più recenti, come la UNI 10840:2007 e la UNI EN 17037:2021.

<sup>39</sup> (Decreto Ministero Della Sanità 05-07-1975)

<sup>40</sup> (Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975)

<sup>41</sup> (Decreto del Presidente della Repubblica del 6 giugno 2001)

## 4.2

### IL QUADRO TECNICO NORMATIVO

Il tema della luce naturale all'interno degli edifici è oggi regolato da un articolato sistema di norme tecniche che definiscono criteri, metodi di valutazione e requisiti prestazionali per garantire adeguati livelli di comfort visivo, efficienza energetica e qualità ambientale. Queste norme costituiscono un riferimento essenziale per i progettisti, poiché forniscono gli strumenti per quantificare e verificare il contributo della luce diurna negli spazi costruiti, assicurando la conformità ai requisiti minimi stabiliti a livello nazionale ed europeo.

Tra i principali riferimenti normativi si distinguono la *UNI 10840:2007*, che fornisce indicazioni generali sulla progettazione dell'illuminazione naturale negli ambienti scolastici; la *UNI EN 12464-1:2021*, dedicata ai requisiti illuminotecnici per i luoghi di lavoro e la *UNI EN 15193-1:2021*, che introduce il concetto di efficienza energetica dei sistemi di illuminazione in relazione all'uso razionale dell'energia. Queste norme, pur affrontando il tema della luce naturale con approcci e finalità differenti — talvolta come parametro di qualità visiva, altre come fattore energetico — compongono nel loro insieme il quadro tecnico entro cui si colloca la progettazione illuminotecnica contemporanea.

La *UNI EN 17037:2019*, che rappresenta il riferimento normativo più recente e completo dedicato specificamente alla luce naturale, sarà approfondita nel capitolo successivo, data la sua centralità nel tema del lavoro di tesi e l'approccio innovativo con cui affronta l'argomento.

#### 4.2.1 – La normativa italiana UNI 10840:2007 –

##### “Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale”

La norma UNI 10840:2007<sup>42</sup> è una delle più datate norme UNI tutt'oggi in vigore e per alcuni versi anche attuale. Essa fornisce un insieme di indicazioni progettuali volte a garantire **condizioni di illuminazione adeguate negli ambienti scolastici**, sia per quanto riguarda la luce artificiale che quella naturale. Il principio di fondo che guida l'intero documento è la necessità di assicurare un livello di benessere visivo compatibile con le attività svolte all'interno delle aule e degli altri spazi scolastici, ponendo attenzione anche agli aspetti legati alla sicurezza e all'efficienza energetica.

L'illuminazione naturale viene considerata un elemento prioritario nella progettazione, non solo per i suoi effetti benefici sul piano psicofisico, ma anche per la possibilità di ridurre il fabbisogno di energia elettrica. Le aperture trasparenti devono svolgere una duplice funzione: permettere un adeguato ingresso di luce e mantenere un rapporto visivo diretto con l'ambiente esterno. In particolare, per le **aule scolastiche** è richiesto un **FLD<sub>m</sub>** pari almeno al **3%**, valore che garantisce un livello di illuminamento interno sufficiente in condizioni di cielo coperto, senza radiazione solare diretta. Per altri ambienti, come **corridoi, mense o palestre**, sono indicati valori minimi compresi tra l'**1%** e il **2%**, a seconda delle specifiche esigenze funzionali.

La norma suggerisce anche alcune strategie per evitare fenomeni di abbagliamento, come l'impiego di sistemi schermanti mobili (tende, veneziane, schermi), soprattutto in presenza di ampie superfici vetrate o esposizioni critiche. Particolare attenzione viene posta alla distribuzione delle luminanze all'interno dell'ambiente, che deve risultare equilibrata per non affaticare la vista. In questo senso, viene proposto l'utilizzo dell'indice **DGI (Daylight Glare Index)** per valutare l'eventuale presenza di abbagliamento fastidioso dovuto alla luce naturale, con valori limite che, per le aule, non dovrebbero superare 21.

È importante ricordare che il DGI è un indice nato negli anni 70, per cui presenta delle alcune limitazioni significative quando

<sup>42</sup> UNI 10840 - Luce e illuminazione Locali scolastici, Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale. (2000).

applicato alla luce naturale. In particolare, il DGI è stato sviluppato per condizioni relativamente semplici e tende a sottostimare l'abbagliamento in scene globalmente luminose e in presenza di facciate complesse. Questo approccio risulta poco adatto a descrivere correttamente le condizioni visive reali in ambienti eterogenei.<sup>43</sup>

Ad oggi infatti è riconosciuto il DGP come indice validato per la valutazione dell'abbagliamento, poichè rappresenta in modo più realistico la percezione umana dell'abbagliamento. A differenza del DGI, il DGP considera l'intera distribuzione di luminanza all'interno del campo visivo dell'osservatore, valutando l'effetto complessivo della luce proveniente da tutte le direzioni. Questo elemento è fondamentale, poiché l'abbagliamento deriva anche dal rapporto tra aree luminose e zone d'ombra percepite nel campo visivo complessivo.

Inoltre, il DGI tende a sottostimare l'abbagliamento in ambienti ad alta luminosità, poiché la luminanza di fondo elevata riduce artificialmente il valore dell'indice, mentre il DGP mantiene una maggiore sensibilità anche in condizioni di forte illuminazione naturale.<sup>44</sup>

Infine, il DGP integra nella sua formula anche l'illuminamento verticale all'occhio (parametro che descrive la quantità totale di luce incidente sull'occhio dell'osservatore. Questo elemento consente di tener conto del livello di adattamento visivo, cioè della capacità dell'occhio di adeguarsi alle variazioni di luminosità complessiva. In tal modo, il DGP non valuta solo il contrasto tra sorgente e sfondo, ma l'intero contesto luminoso, offrendo una misura più coerente con la reale percezione di abbagliamento.<sup>45</sup>

Dove la luce naturale non è sufficiente, la norma regola l'utilizzo dell'illuminazione artificiale, indicando i livelli di illuminamento raccomandati in funzione della destinazione d'uso dei diversi locali scolastici. Per le aule, ad esempio, si suggerisce un valore minimo di 300 lux, che sale a 500 o 750 lux in ambienti dove si svolgono attività più complesse, come laboratori di disegno o sale lettura. L'impianto di illuminazione deve assicurare una buona uniformità, una resa cromatica adeguata e la possibilità di regolare l'intensità luminosa in base alle necessità operative.

<sup>43</sup> (Mcneil & Burrell, 2016)

<sup>44</sup> (Quek et al., 2021)

<sup>45</sup> (Jakubiec & Reinhart, 2011)

Infine, la norma prescrive anche le modalità con cui devono essere effettuate le verifiche illuminotecniche, prevedendo misurazioni sia interne che esterne, da eseguire con luxmetri e in assenza di contributi dalla luce artificiale.

#### 4.3.2 – La normativa europea UNI EN 12464-1:2021 “Illuminazione dei posti di lavoro”

È la norma europea di riferimento per la progettazione dell'illuminazione artificiale negli ambienti di lavoro interni.<sup>46</sup> Definisce i requisiti illuminotecnici necessari a garantire che le persone possano vedere in modo confortevole, sicuro ed efficiente nello svolgimento delle loro mansioni. Seppur occupandosi di illuminazione artificiale, fornisce dei requisiti e dei parametri che prendono in considerazione anche il contributo della luce naturale.

La normativa propone una serie di indicazioni utili a garantire condizioni ottimali dal punto di vista visivo, ergonomico ed energetico. Il capitolo dedicato ai criteri progettuali affronta le diverse componenti che concorrono a determinare la qualità dell'illuminazione in ambienti interni, con particolare attenzione alle esigenze dell'attività svolta e al comfort degli utenti.

##### Livelli di illuminamento

L'aspetto centrale per cui la norma è importante, anche se tratta principalmente la luce artificiale, riguarda l'individuazione dei **livelli di illuminamento idonei**. La norma sancisce i **valori di riferimento differenziati in base alla tipologia di attività**, con l'obiettivo di assicurare una visione agevole e sicura durante lo svolgimento del compito visivo. Per esempio, attività che richiedono precisione elevata, come il disegno tecnico o il controllo qualità, richiedono livelli più alti rispetto a spazi destinati al solo passaggio.

Oltre all'area specifica di lavoro, è importante garantire una transizione visiva gradevole verso le zone circostanti e di sfondo, evitando bruschi salti di illuminamento. La norma raccomanda che le zone adiacenti al compito visivo ricevano almeno 1/3 del valore d'illuminamento previsto per quest'ultimo.

<sup>46</sup> UNI EN 12464-1. – Illuminazione dei posti di lavoro. (2021)

Uniformità di illuminazione

La regolarità con cui la luce viene distribuita nello spazio rappresenta un ulteriore parametro rilevante nella normativa. L'uniformità di illuminazione  $U_o$ , calcolata come rapporto tra il valore minimo dell'illuminamento  $E_{min}$  e il valore medio dell'illuminamento  $E_m$ , deve essere sufficientemente elevata (> 0.10) per evitare aree troppo buie o troppo luminose.

Distribuzione della luminanza e ambiente luminoso

L'illuminazione deve essere distribuita in modo da evitare contrasti eccessivi di luminanza, che possono generare affaticamento visivo. In tal senso, è fondamentale che le superfici presenti nel locale (come pareti, pavimenti e soffitti) abbiano **coefficienti di riflessione adeguati** e coerenti con la destinazione d'uso dello spazio: soffitto 0.7-0.9, pavimento 0.2 – 0.6, pareti 0.5 -0.8.

Aspetti cromatici

La qualità cromatica della luce influisce sia sulla resa dei materiali sia sul benessere degli utenti. In generale, è raccomandato un valore minimo di *Indice di resa del colore minimo* ( $R_g$ ) pari a 80 per garantire una buona distinzione dei colori. La *Temperatura di colore* (espressa in *Kelvin*) dei corpi illuminanti va scelta in relazione all'attività svolta: luci più calde per ambienti di relax, luci neutre o fredde per attività produttive o che richiedono attenzione. Nel caso della luce naturale non possiamo intervenire sulla fonte di illuminazione, ma possiamo rispettare questo criterio agendo sul tipo di vetro, che può influire sulla resa cromatica dei materiali interni.

Tipo di task/area di attività	$\bar{E}_m$ lx		$U_o$	$R_a$	$R_{UGL}$	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,wall}$ lx	$\bar{E}_{m,ceiling}$ lx
	required <sup>a</sup>	modified <sup>b</sup>				$U_o \geq 0,10$		
Archiviazione, copiatura, ecc.	300	500	0,40	80	19	100	100	75
Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Disegno tecnico	750	1 500	0,70	80	16	150	150	100
Postazioni di lavoro CAD	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Sale conferenze e sale riunioni	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Tavolo da conferenza	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Banco della reception	300	750	0,60	80	22	100	100	75
Archiviazione	200	300	0,40	80	25	75	75	50
Disegno tecnico	750	1 500	0,70	80	16	150	150	100
Postazioni di lavoro CAD	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Sale conferenze e sale riunioni	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Tavolo da conferenza	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Banco della reception	300	750	0,60	80	22	100	100	75
Archiviazione	200	300	0,40	80	25	75	75	50

15: Requisiti progettuali illuminotecnici per edifici destinati ad uffici

Tipo di task/area di attività	$\bar{E}_m$ lx		$U_o$	$R_a$	$R_{UGL}$	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,wall}$ lx	$\bar{E}_{m,ceiling}$ lx
	required <sup>a</sup>	modified <sup>b</sup>						
Aula - attività generali	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Auditorium, sale conferenze	500	750	0,60	80	19	150	150	50
Partecipare alle lezioni nei posti a sedere in auditorium e sale conferenze	200	300	0,60	80	19	75	75	50
Lavagne nere, verdi e bianche	500	750	0,70	80	19	-	-	-
Lavagne nere, verdi e bianche in auditorium e sale conferenze	500	750	0,60	80	19	-	-	-
Presentazione con proiettori e smartboard	-	-	-	-	-	-	-	-
Tabellone	200	300	0,60	80	19	-	-	-
Tavolo dimostrativo in auditorium e sale conferenze	750	1 000	0,70	80	19	-	-	-
Luce sull'insegnante /presentatore	-	-	-	80	-	150	-	-
Luce sulla zona podio	300	500	0,70	80	-	-	-	-
Solo lavoro al computer	300	500	0,60	80	19	100	100	75
Aule d'arte in scuole d'arte	750	1 000	0,70	90	19	150	150	100
Aule di disegno tecnico	750	1 000	0,60	80	19	150	150	100
Aule funzionali e laboratori	500	750	0,60	80	19	150	150	100
Aule per lavori manuali	500	750	0,60	80	19	150	100	100

16: Requisiti progettuali illuminotecnici per edifici con destinazione scolastica

Tipo di task/area di attività	$\bar{E}_m$ lx		$U_o$	$R_a$	$R_{UGL}$	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,wall}$ lx	$\bar{E}_{m,ceiling}$ lx
	required <sup>a</sup>	modified <sup>b</sup>						
Area di scarico/carico	200	300	0,40	80	25	50	50	30
Area imballaggio/raggruppamento	300	500	0,50	80	25	100	100	30
Configurazione e gestione	750	1000	0,60	80	22	150	150	30
Magazzino merci aperto	200	300	0,40	80	25	50	50	30
Magazzino a scaffale - pavimento	150	200	0,50	80	25		-	30
Magazzino a scaffale - faccia a rastrelliera	75	100	0,40	80	-	-	-	-
Corridoio logistico centrale (traffico pesante)	300	500	0,60	80	25	100	100	30
Zone automatizzate (non presidiate)	75	100	0,40	80	25			
Magazzini e depositi	100	150	0,40	80	25	50	50	30
Aree imballaggio spedizione	300	500	0,60	80	25	100	50	30
Dispensa	200	300	0,40	80	25	-	-	-

17: Requisiti progettuali illuminotecnici per edifici con destinazione industriale

### 4.3.3 – La normativa UNI EN 15193-1: 2021 “Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione”

La normativa UNI EN 15193-1: 2021<sup>47</sup> nasce per stabilire una metodologia di valutazione della prestazione energetica dei sistemi di illuminazione generale e per calcolare la quantità di energia necessaria per l'illuminazione negli edifici. La normativa propone il metodo di calcolo del *LENI*, il *Lighting Energy Numeric Indicator*. Questa metrica considera anche l'apporto della luce naturale sia attraverso le aperture laterali sia verticali, la potenza dei sistemi di illuminazione artificiale, la tipologia di sistema di controllo e il profilo di occupazione da parte dell'utenza.

La componente di luce diurna viene tenuta in considerazione nel calcolo del *LENI* grazie al *fattore di dipendenza dalla luce naturale*  $F_D$  che si calcola con la seguente formula:

$$F_D = 1 - (F_{D,S,n} \times F_{D,C,n})$$

dove:

- $F_{D,S,n}$  = fattore di disponibilità della luce naturale. Rappresenta il contributo della luce naturale al valore di illuminamento medio richiesto nella zona “n” considerata;
- $F_{D,C,n}$  = fattore che tiene conto della capacità del sistema di controllo di sfruttare la disponibilità di luce naturale nella zona “n” considerata.

Le fasi di calcolo dei due fattori si svolgono attraverso un step iniziale in cui si suddivide l'edificio in zone con o senza penetrazione della luce naturale e si determina l'impatto che le caratteristiche architettoniche hanno su tale fattore.

Per  $F_{D,S,n}$  vengono poi calcolati due diversi fattori di luce diurna, considerando due configurazioni della facciata: una con schermature solari attive e una senza. Il valore finale è ottenuto come media ponderata degli FLD in entrambe le condizioni, con e senza schermatura. Questa media viene calcolata tenendo conto del tempo relativo  $t_{rel}$  determinato in funzione della latitudine del sito di progetto e dell'orientamento della facciata e in particolare della superficie vetrata oggetto dell'analisi.

$F_{D,C,n}$  è invece determinato dalla tipologia del sistema di controllo e dall'illuminamento richiesto dalla zona presa in analisi.

Questi due fattori permettono all'indice del *LENI* di tenere in considerazione la luce naturale disponibile in base alla posizione geografica, alle condizioni meteorologiche, all'orientamento e alle schermature ( $F_{D,C,n}$ ) e allo stesso tempo di considerare la dimensione dell'ambiente e dell'apertura, la presenza o assenza di ostruzioni esterne e le condizioni di trasmissione e di manutenzione proprie del vetro.

Visto l'obiettivo del *LENI*, l'elemento della luce naturale in questa normativa viene considerato soltanto come uno dei fattori contributivi all'abbassamento dei consumi energetici, tralasciando i restati benefici che la luce possiede. Non ci sono infatti cenni relativi al confort degli occupanti, al tema della vista e dell'abbagliamento, che possono influire sull'utilizzo dei dispositivi schermanti e dunque sui consumi energetici.

<sup>47</sup> (EN 15193-1 Energy Performance of Buildings – Energy Requirements for Lighting, 2021)

Norma	UNI 10840	UNI EN 12464-1	UNI EN 15193-1
<b>Titolo</b>	Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale	Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni	Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per l'illuminazione
<b>Anno</b>	2007	2021	2021
<b>Ambito principale</b>	Linee guida nazionali per la progettazione della luce diurna	Requisiti illuminotecnici per il comfort visivo e le prestazioni lavorative	Efficienza energetica dei sistemi di illuminazione
<b>Approccio alla luce naturale</b>	Descrittivo e progettuale: definisce criteri generali per garantire livelli adeguati di illuminazione naturale negli ambienti	Indiretto: la luce naturale è considerata come contributo utile alla riduzione dell'illuminazione artificiale, ma la norma si concentra sulla luce artificiale	Quantitativo ed energetico: introduce il Daylight Factor e i coefficienti di utilizzo della luce naturale per la riduzione dei consumi elettrici
<b>Indici o riferimenti principali</b>	Fattore medio di luce diurna (FLDm), uniformità, superfici vetrate, orientamento e ostruzioni	Illuminamento medio mantenuto, resa cromatica, uniformità	LENI (Lighting Energy Numeric Indicator), fattore di utilizzo della luce diurna ( $F_D$ ), sistemi di controllo automatico
<b>Osserazioni</b>	Norma introduttiva e qualitativa; non prescrittiva, ma utile come base metodologica	Considera la luce naturale come supporto all'efficienza e al comfort, ma non ne fornisce criteri specifici di valutazione	Considera la luce naturale come variabile energetica; enfatizza l'integrazione tra luce naturale e artificiale

## 4.3

### I PROTOCOLLI DI CERTIFICAZIONE

Negli ultimi decenni, la crescente attenzione verso la sostenibilità ambientale e la qualità dello spazio costruito ha portato allo sviluppo di diversi protocolli e sistemi di certificazione ambientale, strumenti volti a valutare e misurare le prestazioni di un edificio secondo criteri oggettivi. Questi protocolli — tra i più diffusi a livello internazionale si trovano LEED, BREEAM, WELL, e, nel contesto italiano, ITACA e i Criteri Ambientali Minimi (CAM) — rappresentano un riferimento per la progettazione consapevole, integrando parametri energetici, ambientali e di benessere degli utenti. In particolare, la luce naturale ricopre un ruolo centrale in molti di questi sistemi di valutazione, poiché, come visto nei capitoli introduttivi, incide simultaneamente sull'efficienza energetica, sulla salute e sul comfort visivo e psicofisico degli occupanti. Le certificazioni considerano quindi la quantità, la qualità e la distribuzione della luce naturale negli ambienti interni come indicatori del livello di sostenibilità e salubrità dell'edificio. L'analisi comparativa dei diversi protocolli consente di comprendere in che modo ciascun sistema interpreta il tema dell'illuminazione naturale — ora come fattore tecnico di riduzione dei consumi, ora come componente essenziale del benessere umano — e di individuare i criteri comuni e le differenze metodologiche che ne derivano.

#### 4.2.1 – Il protocollo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

Il protocollo LEED, acronimo di *Leadership in Energy and Environmental Design*, è uno dei sistemi di certificazione ambientale più diffusi a livello internazionale, nato negli Stati

Uniti alla fine degli anni '90 per iniziativa del *U.S. Green Building Council (USGBC)*.

È uno standard di certificazione diffuso in tutto il mondo che promuove e valuta la progettazione sostenibile, applicandosi a tutte le tipologie progettuali, dalle nuove costruzioni alle ristrutturazioni, dagli edifici pubblici a quelli privati e a molte destinazioni d'uso: residenze, uffici, scuole, ospedali, industrie e interi quartieri.

Alla base del funzionamento del sistema LEED c'è un approccio a punteggio: l'edificio viene valutato in base a una serie di criteri tecnici e prestazionali che coprono l'intero ciclo di vita dell'opera, dalla progettazione alla costruzione, fino alla gestione operativa. Ogni intervento virtuoso, ogni scelta sostenibile documentata, dà diritto a un certo numero di crediti. Sommando i crediti ottenuti, l'edificio può raggiungere uno dei quattro livelli di certificazione:

- LEED Certified (40–49 punti);
- LEED Silver (50–59 punti);
- LEED Gold (60–79 punti);
- LEED Platinum (80+ punti, su un massimo di 110).

La caratteristica peculiare del protocollo LEED è la flessibilità e capacità di adattarsi alle situazioni locali. Esiste infatti una versione europea del protocollo adattata a questo contesto climatico, normativo e culturale. Queste versioni mantengono una struttura comune tra di loro, ma differiscono per ognuna delle località, permettendone l'applicabilità e la diffusione ad ogni realtà.

Tra gli ambiti su cui il LEED pone particolare attenzione c'è anche la Qualità ambientale interna, un tema cruciale nella progettazione contemporanea, che include la qualità dell'aria, il comfort termoigrometrico, acustico e visivo. In quest'ultimo ambito, l'illuminazione naturale gioca un ruolo centrale, per cui il protocollo pone l'obiettivo di:

*“Connettere gli occupanti dell'edificio con l'ambiente esterno, rafforzare i ritmi circadiani e ridurre l'uso dell'illuminazione artificiale permettendo l'accesso all'interno dell'ambiente di luce naturale e visione verso l'esterno”.*<sup>48</sup>

<sup>48</sup> (LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION, n.d.)

Nel LEED sono contenute tre diverse metodologie per il calcolo dei requisiti di illuminamento naturale in ambiente e sono compresi gli edifici scolastici, gli uffici, i punti vendita, i centri dati, i magazzini e i centri di distribuzione, gli edifici di assistenza sanitaria:

**1 – Simulazione: autonomia di luce naturale degli spazi ed esposizione annuale alla luce naturale (2-3 punti)**

Dimostrare tramite software di simulazione computerizzati che la **sDA<sub>300/50%</sub>** sia pari a **55% (2 pt)** o **75% (3 pt)** per la superficie regolarmente occupata.

Per gli edifici dediti ad Assistenza Sanitaria si ottiene 1 punto se viene raggiunto il 75% di sDA<sub>300/50%</sub> o 2 punti per il 90% di sDA<sub>300/50%</sub> per l'intera superficie della stanza.

Dimostrare inoltre un **ASE<sub>1000/250</sub>** di almeno il **10%**.

**2 – Simulazione: calcolo dell'illuminamento (1-2 punti)**

Dimostrare tramite software di simulazione computerizzati che i **livelli di illuminamento** compresi **tra 300 e 3000 lx**, nei giorni **21 settembre** e **21 marzo**, tra le ore 9:00 e le 15:00 si raggiungono nel **75% (1 pt)** o **90% (2 pt)** dello spazio regolarmente occupato. Per gli edifici dediti ad Assistenza Sanitaria si ottiene 1 punto per il 75% e 2 punti per il 90% della superficie dell'intera stanza raggiunta dai valori soglia di illuminamento.

Considerare l'apporto di luce diretta ed indiretta.

**3 – Misurazione (2-3 punti)**

Dimostrare tramite software di simulazione computerizzati che i livelli di illuminamento compresi tra **300 e 3000 lx**, in **due giorni a scelta** da tabella, tra le ore 9:00 e le 15:00, si raggiungono nel **75% (2 pt)** o **90% (3 pt)** dello spazio regolarmente occupato. Per gli edifici dediti ad Assistenza Sanitaria si ottiene 1 punto per il 75% e 2 punti per il 90% della superficie dell'intera stanza raggiunta dai valori di illuminamento.

Per la scelta dei giorni in cui effettuare il calcolo, scegliere un giorno realmente occupato dall'utenza (Tabella 4).

New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		Healthcare	
sDA (per superficie occupata regolarmente)	Punti	sDA (per superficie perimetrale)	Punti
55%	2	75%	1
75%	3	90%	2

18. Punteggio assegnato in base alle superfici illuminate naturalmente: sDA

New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		Healthcare	
Percentuale di superficie regolarmente occupata	Punti	Percentuale di superficie perimetrale	Punti
75%	1	75%	1
90%	2	90%	2

19. Punteggio assegnato in base alle superfici illuminate naturalmente

New Construction, Core and Shell, Schools, Retail, Data Centers, Warehouses and Distribution Centers, Hospitality		Healthcare	
Percentuale di superficie regolarmente occupata	Punti	Percentuale di superficie perimetrale	Punti
75	2	75	1
90	3	90	2

20. Punti per superficie con luce naturale: Misura

Se la prima misura è effettuata a...	effettuare la seconda misura a...
Gennaio	Maggio-Settembre
Febbraio	Giugno-Ottobre
Marzo	Giugno-Luglio, Novembre-Dicembre
Aprile	Agosto-Dicembre
Maggio	Settembre-Gennaio
Giugno	Ottobre-Febbraio
Luglio	Novembre-Marzo
Agosto	Dicembre-Aprile
Settembre	Dicembre-Gennaio, Maggio-Giugno
Ottobre	Febbraio-Giugno
Novembre	Marzo-Luglio
Dicembre	Aprile-Agosto

21. Tempistica delle misure di illuminamento

Il protocollo LEED fornisce anche un altro criterio strettamente legato al tema dell'illuminazione naturale, ossia la qualità della **vista verso l'esterno**. L'obiettivo è permettere agli occupanti un collegamento visivo verso il contesto ambientale naturale, senza essere coperti dalle ostruzioni del costruito.

Vengono forniti dunque dei requisiti sia per quanto riguarda i materiali della componente vetrata, sia per la percentuale di ostruzione della vista stessa che per gli elementi esterni che la vista deve poter inquadrare.

Citando le indicazioni presenti nel protocollo:

*"Il **75% dell'area** regolarmente occupata della stanza deve permettere una **visione chiara dell'esterno**. L'area vetrata della finestra deve essere dunque trasparente e non presentare qualsiasi materiale o aspetto che possa alterare o impedire la visione dell'esterno. Inoltre, il 75% di tutta la superficie regolarmente occupata deve avere almeno due delle seguenti quattro tipologie di visuale:*

- linee di visione multiple verso vetrate trasparenti in diverse direzioni distanti tra loro almeno 90 gradi;*
- viste che includono almeno due dei seguenti elementi: (1) flora, fauna o volta celeste; (2) movimento; (3) oggetti a 7,5 metri dalle vetrate perimetrali;*
- viste non ostruite collocate a una distanza di tre volte l'altezza del bordo superiore della vetrata trasparente;*
- viste con un fattore di vista pari a 3 o maggiore." <sup>49</sup>*

<sup>49</sup> (Heschong & Saxena, 2003)

#### 4.2.2 – Il protocollo internazionale BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

Tra i sistemi di valutazione della sostenibilità ambientale maggiormente riconosciuti a livello internazionale, il protocollo BREEAM<sup>50</sup> (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) rappresenta uno dei modelli più consolidati e diffusi. Nato nel Regno Unito all'inizio degli anni '90 per iniziativa del *Building Research Establishment BRE*, questo metodo si è progressivamente affermato come strumento di riferimento per la certificazione ambientale di edifici nuovi, esistenti e in fase di riqualificazione.

Il suo approccio multidisciplinare consente di valutare un ampio spettro di aspetti legati alla progettazione e gestione sostenibile degli edifici, tra cui la qualità ambientale interna, l'efficienza energetica, l'uso responsabile delle risorse, la gestione dei rifiuti e l'impatto sull'ecosistema locale. A ogni ambito analizzato viene assegnato un punteggio, il quale concorre a definire il livello complessivo di sostenibilità raggiunto dall'edificio.

I livelli di sostenibilità promossi dal protocollo sono:

- Pass ( $\geq 30\%$ )
- Good ( $\geq 45\%$ )
- Very Good ( $\geq 55\%$ )
- Excellent ( $\geq 70\%$ )
- Outstanding ( $\geq 85\%$ )

L'applicazione del BREEAM non solo promuove un approccio più attento alle tematiche ambientali, ma contribuisce anche ad aumentare il valore dell'edificio e a migliorarne le prestazioni nel tempo, in un'ottica di lungo periodo.

La sezione *Hea 01 Visual comfort* fornisce fino ad un massimo di 6 punti BREAM se raggiunge un buon livello di performance visiva e comfort portato dalla luce naturale ed artificiale.

I punti vengono assegnati se rispettati questi quattro criteri:

- **Controllo dell'abbagliamento** causato dalla luce solare (un credito),
- **Illuminazione naturale** (fino a due crediti, in base alla tipologia

edilizia),

- **Vista verso l'esterno** (un credito per tutti gli edifici, due crediti per gli edifici sanitari con reparti di degenza),
- **Livelli di illuminazione interna ed esterna**, suddivisione in zone e controllo (un credito).

#### Controllo dell'abbagliamento da luce solare

Il controllo dell'abbagliamento causato dalla luce naturale diretta è fenomeno che può compromettere sia il comfort visivo sia l'efficienza degli ambienti interni. A tal fine, è richiesta una valutazione preliminare delle aree potenzialmente soggette a rischio di abbagliamento, attraverso un'analisi dedicata che giustifica anche l'eventuale assenza di criticità in determinate zone. Qualora vengano individuate aree a rischio, è necessario elaborare una strategia progettuale che consenta di eliminare alla radice il problema, senza ricorrere a soluzioni che aumentino il fabbisogno energetico per l'illuminazione artificiale. La strategia deve quindi favorire il massimo apporto di luce naturale in qualsiasi condizione atmosferica, sia in presenza di cielo sereno che coperto, e garantire che gli elementi di schermatura o ombreggiamento non interferiscano con il corretto funzionamento dei sistemi di regolazione automatica dell'illuminazione.

#### Illuminazione naturale (in base alla tipologia edilizia)

La valutazione della disponibilità di luce diurna all'interno degli edifici si fonda su una serie di parametri tecnici ben definiti.

- In primo luogo, per l'assegnazione del credito associato a questo requisito, è necessario che almeno l'80% dell'area utile dell'edificio soddisfi i criteri previsti. Qualora il calcolo di questa percentuale generi un valore decimale, è previsto l'arrotondamento per eccesso, applicabile anche in caso di ambienti distinti.
- La presenza di ostruzioni esterne costituisce un ulteriore elemento da prendere in considerazione. In questo ambito, la normativa impone di valutare anche eventuali edifici di futura costruzione, purché già provvisti di permesso edilizio, anche se non ancora realizzati. Per quanto riguarda la riflessione delle superfici esterne, il valore di riferimento standard è pari a 0,2,

<sup>50</sup> (BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), 2018)

salvo che non siano disponibili dati misurati in situ attraverso rilievi specifici.

- Nel calcolo del Fattore di Luce Diurna (FLD<sub>m</sub>) rientra anche un coefficiente legato allo stato di manutenzione delle superfici vetrate, includendo aspetti come il livello di pulizia e la trasparenza delle aperture.
- La conformazione dell'ambiente e la strategia di apertura adottata incidono direttamente sulla profondità massima illuminabile. Se l'illuminazione naturale avviene lateralmente da due lati opposti, la profondità massima dell'ambiente è pari al doppio della distanza tra le due pareti finestrate, assumendo per semplicità un valore unitario per la riflessione interna. Qualora invece venga sfruttata anche la luce proveniente dalla copertura, come nel caso dei lucernari o dei sistemi zenitali, il calcolo della profondità non può basarsi su relazioni geometriche semplici, ma richiede l'utilizzo di software avanzati di simulazione.
- Nelle analisi illuminotecniche, alcune zone adiacenti alle pareti perimetrali – in particolare le fasce entro i 50 cm da ogni muro – vengono escluse dalla valutazione di uniformità, illuminamento minimo e FLD minimo, pur essendo incluse nel computo dei valori medi complessivi.
- Il criterio relativo alla vista diretta del cielo prevede che almeno l'80% della superficie di ciascun ambiente considerato riceva luce naturale proveniente direttamente dalla volta celeste. Questo parametro è particolarmente rilevante negli ambienti educativi e sanitari, per i quali sono previste ulteriori specifiche prestazionali.

### Vista verso l'esterno

Il requisito del criterio della vista verso l'esterno da raggiungere parla di: *“Il 95% dell'area pavimentata nel 95% degli spazi per ogni area rilevante dell'edificio deve avere un'adeguata vista verso l'esterno”*

Per definire la cosa la norma intenda per “adeguata” viene fornita la tabella (Immagine 23) , tratta dal protocollo.

Building or area type	Credits	Average daylight factor required	Minimum percentage area (m <sup>2</sup> ) to comply	Other requirements
Education buildings				
Preschools, schools, further education occupied spaces	2	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Higher education occupied spaces	1	2%	60%	
	2	2%	80%	
Staff and public areas	1	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Occupied patient's areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		2%	80%	
Staff and public areas	2	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Occupied patient areas (dayrooms, wards) and consulting rooms		3%	80%	
Multi-residential buildings				
Kitchen	2	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Living rooms, dining rooms, studies (including home office)		2 %	80%	
Non-residential or communal occupied spaces		2%	80%	
Retail buildings				
Sales areas	1	-	35%	Point daylight factors of 2% or more
Other occupied areas	1	2%	80%	EITHER (a) OR ((b) and (c)) in Table 5.2
Office Buildings				
All occupied spaces, unless indicated in Daylighting - relevant building areas on page 86	2	2%	80%	EITHER (a) or ((b) and (c)) in Table 5.2

21: Valori minimi richiesti per il fattore di luce diurna media

Area type	Credits	Minimum area to comply	Average daylight illuminance (averaged over entire space)	Minimum daylight illuminance at worst lit point
<b>Education buildings</b>				
Preschools, schools, further education - occupied spaces	2	80%	At least 300 lux for 2000 hours per year or more	At least 90 lux for 2000 hours per year or more
Higher education - occupied spaces	1	60%		
OR Higher education - occupied spaces	2	80%		

## Livelli di illuminazione interna ed esterna, suddivisione in zone e controllo

L'illuminazione artificiale degli ambienti interni deve essere progettata per garantire livelli adeguati di illuminamento (espressi in lux) e un indice di resa cromatica conforme a quanto previsto dal *SLL Code for Lighting 2012*, oltre che da eventuali altri standard di settore pertinenti. I livelli di illuminazione devono risultare coerenti con le attività svolte all'interno degli ambienti, tenendo conto della necessità di mantenere buoni livelli di concentrazione e comfort visivo per gli occupanti.

Per quanto riguarda l'illuminazione esterna, tutti gli apparecchi installati all'interno della zona di intervento devono essere conformi alla norma *BS 5489-1:2013*, relativa alla progettazione dell'illuminazione stradale e degli spazi pubblici, e alla *UNI 12464-2:2014*, che riguarda l'illuminazione dei luoghi di lavoro all'aperto. L'illuminazione esterna deve garantire livelli di illuminamento sufficienti a permettere agli utenti di svolgere compiti visivi all'aperto in modo efficiente e preciso, in particolare nelle ore notturne.

Multi-residential buildings				
Kitchen	2	100%	At least 100 lux for 3450 hours per year or more	At least 30 lux for 3450 hours per year or more
Living rooms, dining rooms, studies (including home offices)			At least 100 lux for 3450 hours per year or more	At least 30 lux for 3450 hours per year or more
Non-residential or communal occupied spaces		80%	At least 200 lux for 2650 hours per year or more	At least 60 lux for 2650 hours per year or more
Retail buildings				
Sales areas	1	35%	At least 200 lux point daylight illuminances for 2650 hours per year or more	
Other occupied areas	1	80%	At least 200 lux for 2650 hours per year or more	At least 60 lux for 2650 hours per year or more
Office buildings				
All occupied spaces, unless indicated in Daylighting - relevant building areas on page 86	2	80%	At least 300 lux for 2000 hours per year or more	At least 90 lux for 2000 hours per year or more

22: Requisiti relativi al tipo di spazio e all'illuminamento: entrambi i criteri (illuminamento medio e illuminamento minimo puntuale) devono essere soddisfatti.

Building type	View out requirements
Prison buildings	<b>Cells</b> An adequate view out from a normal standing or sitting position. The distance between each window and nearest external solid object (i.e. buildings, screens, walls or fences) is $\geq 10\text{m}$ . Where existing features prevent compliance with this criteria in less than 20% of the cells within the building, the credit can still be awarded. <b>Patient-occupied spaces</b> See healthcare requirements for these spaces.
Multi-residential buildings	<b>Self-contained flats - living rooms</b> <b>Sheltered housing - communal lounges, individual bedrooms and bedsits</b> All positions within relevant areas are to be within 5m of a wall which has a window or permanent opening providing an adequate view out. The window or opening must be $\geq 20\%$ of the surrounding wall area.
Healthcare buildings with inpatient areas (one additional credit)	<b>Patient-occupied spaces, e.g. wards and dayrooms</b> As criteria 5 and 6 for the relevant building areas PLUS the distance between the wall with the window or opening and nearest external solid object (e.g. buildings, screens, walls or fences) is $\geq 10\text{m}$ .

23: Requisiti di vista verso l'esterno per edifici specifici

4.2.3 – Il protocollo internazionale WELL (Well Building Standards)

Il protocollo WELL è una certificazione internazionale pensata per misurare e valorizzare la qualità del benessere umano negli edifici, concentrandosi non soltanto sugli aspetti ambientali, come per i protocolli visti fin ora, ma sugli effetti che il costruito ha sulla salute dell'uomo, il confort e la qualità della vita degli occupanti. La certificazione WELL è nata nel 2014 e gestita dall'*International WELL Building Institute (IWBI)* ed è rilasciata dal *Green Business Certification Inc.*, ovvero dal medesimo istituto che rilascia la certificazione LEED.

La grande differenza che ha questa certificazione con i protocolli LEED e BREEAM è che i primi valutano l'edificio dal punto di vista ambientale ed energetico, mentre questa valuta come le prestazioni del costruito giochino un ruolo attivo nel miglioramento della salute fisica e mentale degli occupanti. Dunque, per quanto riguarda il tema del daylight, il protocollo WELL non si limiterà soltanto a prevedere dei requisiti di illuminamento minimo negli ambienti, ma si concentrerà anche su come la luce naturale possa rispettare il sistema circadiano e valorizzare il ritmo sonno-veglia.

Il sistema di valutazione avviene tramite il rispetto dei requisiti delle *"Optimizations"* (criteri migliorativi che non obbligatori, ma che danno punti WELL) alle quali però si può accedere soltanto se rispettati i *"Requirements"* (criteri obbligatori, ma che non danno punti WELL).

Il punteggio massimo è 110 per l'ultima versione del protocollo *WELL v2*<sup>51</sup> e i livelli di certificazione che si ottengono sono:

- WELL Bronze: ≥ 40 punti (solo se prerequisiti soddisfatti)
- WELL Silver: ≥ 50 punti
- WELL Gold: ≥ 60 punti
- WELL Platinum: ≥ 80 punti

Anche per questo protocollo esistono varie macrocategorie di analisi (per il WELL sono 10) ciascuna relativa a un aspetto

della salute e della qualità della vita degli occupanti. Tra queste troviamo la categoria *Luce* e la *Optimization "Daylight Design Strategies"*, con il numero più altro di punti (4) tra le *Optimizations* e *"Daylight Simulation"* con al massimo 2 punti ottenibili.

• I requisiti da raggiungere per *"Daylight Design Strategies"* sono:

Parte 1 – "Implement Daylight Plan"

TIER	Layout interno		Design facciata	PT
1	Il 70% di tutte le postazioni di lavoro si trova entro 25 piedi dalle vetrate dell'involucro. La trasmittanza della luce visibile (VLT) è superiore al 40%.	o	Le vetrate dell'involucro non sono inferiori al 15% della superficie regolarmente occupata. La trasmittanza della luce visibile (VLT) delle finestre è superiore al 40%.	1
2	Il 70% di tutte le postazioni di lavoro si trova entro 16 piedi dalle vetrate dell'involucro. La trasmittanza della luce visibile (VLT) è superiore al 40%.	o	Le vetrate dell'involucro non sono inferiori al 25% della superficie regolarmente occupata. La trasmittanza della luce visibile (VLT) delle finestre è superiore al 40%.	2

Parte 2 – "Integrate Solar Shading"

TIER	Tipo di ombreggiamento	PT
1	Ombreggiatura manuale controllabile dagli occupanti abituali in qualsiasi momento. Le tende sono regolarmente aperte una volta al giorno per tutti i giorni in cui il progetto è in uso.	1
2	Schermature automatiche per evitare l'abbagliamento.	2

• I requisiti da raggiungere per *"Daylight Simulation"* sono:

TIER	Calcolato con IES LM-83		Calcolato con Allegato A di EN 17037	PT
1	sDA <sub>300,50%</sub> >55%	o	L'illuminamento target di 300 lx è raggiunto per >50% delle aree regolarmente occupate per il 50% delle ore diurne dell'anno.	1
2	sDA <sub>300,50%</sub> >75%	o	L'illuminamento target di 300 lx è raggiunto per >50% dell'area totale e l'illuminamento medio di 100 lx è raggiunto per >95% dell'area totale durante il 50% delle ore di luce del giorno dell'anno.	2

<sup>51</sup> (WELL v2, Q2 2025)

Troviamo inoltre una seconda categoria di valutazione che punta al supporto del sistema circadiano *“Circadian Lighting Design”*, che permette un ottenimento fino a 3 punti.

• I requisiti da raggiungere per *“Circadian Lighting Design”* sono:

TIER	Soglia		Soglia per progetti con illuminazione naturale potenziata	PT
1	Almeno 136 EDI.	o	Almeno 109 EDI e uno tra “Implement Daylight Plan” e “Daylight Simulation”	1
2	Almeno 250 EDI.	o	Almeno 180 EDI e uno tra “Implement Daylight Plan” e “Daylight Simulation”	3

#### 4.2.4 - Il protocollo ITACA

Il Protocollo ITACA (acronimo di *Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale*) è uno strumento italiano di valutazione e certificazione del livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici, sviluppato per fornire un sistema in grado di supportare le politiche territoriali orientate alla sostenibilità. Nato su iniziativa delle Regioni italiane e redatto in collaborazione con *iiSBE Italia* e *UNI*, il protocollo si propone di misurare le prestazioni ambientali degli edifici, sia in fase di progettazione che durante la gestione e il controllo da parte della pubblica amministrazione. Esso considera una pluralità di aspetti, tra cui l'efficienza energetica, il consumo di risorse, l'impatto ambientale e la qualità degli ambienti interni, tenendo conto delle normative tecniche nazionali per garantire oggettività nei criteri e nei metodi di verifica.

La versione più recente del Protocollo ITACA si basa sul documento *UNI/PdR 13.1:2019*, dal titolo "*Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità*".<sup>52</sup>

Questo documento organizza la valutazione in cinque macroaree tematiche:

- D.1 - La qualità del sito,
- D.2 - Il consumo delle risorse,
- D.3 - I carichi ambientali,
- D.4 - La qualità ambientale indoor,
- D.5 - La qualità del servizio.

In ciascuna di queste aree vengono individuati criteri specifici, ciascuno dei quali è misurato attraverso indicatori e scale di punteggio che vanno da -1 (prestazione scadente) a +5 (prestazione eccellente), dove il valore 0 corrisponde al minimo normativo.

Un'attenzione particolare è rivolta alla qualità ambientale indoor, che comprende indicatori legati al comfort termoigrometrico, acustico, visivo, alla qualità dell'aria interna e anche all'illuminazione naturale. Quest'ultima è affrontata nel punto D.4.1

del protocollo, all'interno della sezione dedicata al "*Benessere visivo*". L'obiettivo è garantire un livello adeguato di illuminazione naturale negli ambienti principali, e per farlo si utilizza come indicatore il Fattore Medio di Luce Diurna ( $FLD_m$ ).

Per gli edifici residenziali, il punteggio viene attribuito sulla base dei valori medi ponderati ottenuti dal calcolo del  $FLD_m$  nei vari ambienti: si parte da **-1** se il valore è **inferiore al 2%**, passando per **0** (sufficiente) quando  $FLD_m$  è **pari al 2%**, fino a un massimo di **5** punti quando supera il **3%**, valore considerato ottimale.

Nel caso degli edifici non residenziali, la valutazione si basa sul rapporto tra il  $FLD_m$  dell'edificio analizzato e il  $FLD_m$  di un edificio limite di riferimento. In questo contesto, si assegna un punteggio -1 se il rapporto è inferiore al 100%, 0 se è uguale o leggermente superiore ( $\geq 100\%$ ), 3 punti se il valore supera il 115% e il punteggio massimo di 5 punti se il rapporto è maggiore del 125%. I valori soglia di riferimento sono differenziati in base alla destinazione d'uso degli ambienti e alla natura del compito visivo previsto, così da garantire una valutazione coerente con le esigenze funzionali degli spazi.

<sup>52</sup> (Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale ITACA, 2019)

#### 4.2.5 - I CAM (Criteri Ambientali Minimi)

I Criteri Ambientali Minimi sono dei requisiti tecnici e ambientali definiti dal Ministero dell'Ambiente nel *Decreto Ministeriale n. 256* del 23 giugno 2022 che le amministrazioni pubbliche devono seguire negli appalti per ridurre gli impatti ambientali. Hanno come obiettivo la promozione dell'efficienza energetica e dell'economia circolare, nonché la riduzione dei rifiuti e delle emissioni dei processi produttivi. Sono obbligatori per tutti gli appalti pubblici italiani, secondo quanto previsto dal *Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023)*.

Per quanto riguarda il tema del Daylight, i CAM sanciscono dei requisiti di illuminamento e di FLD<sub>m</sub> generici per tutte le tipologie edilizie e specifici per le tipologie scolastiche. Essi, inoltre, definiscono dei requisiti prestazionali per quanto riguarda i dispositivi di ombreggiamento.

I requisiti da raggiungere riguardano il livello di illuminamento in ambiente che segue il calcolo contenuto nella normativa europea EN 17037, mentre ci si riferisce alla normativa europea UNI EN 10840 per il calcolo del FLD<sub>m</sub> degli edifici scolastici e alla UNI EN 15193 per il calcolo del FLD<sub>m</sub> degli altri edifici.

Nel paragrafo “2.4.7 - *Illuminazione Naturale*” sono contenute le indicazioni riguardo i requisiti di illuminamento naturale:

*“Nei progetti di **ristrutturazione urbanistica, nuova costruzione e demolizione e ricostruzione** [...] per qualsiasi destinazione d'uso [...] è garantito un illuminamento da luce naturale di almeno **300 lux**, verificato almeno nel **50%** dei punti di misura all'interno del locale, e di **100 lux**, verificato almeno nel **95%** dei punti di misura (**livello minimo**). Tali valori devono essere garantiti per almeno la metà delle ore di luce diurna.*

*Per le **scuole primarie e secondarie** è garantito un livello di illuminamento da luce naturale di almeno **500 lux**, verificato nel **50%** dei punti di misura e **300 lux** verificato nel **95%** dei punti di misura, per almeno la metà delle ore di luce diurna (**livello medio**).*

*Per le **scuole materne e gli asili nido** è garantito un livello di illuminamento da luce naturale di almeno **750 lux**, verificato nel*

***50%** dei punti di misura e **500 lux** verificato nel **95%** dei punti di misura, per almeno la metà delle ore di luce diurna (**livello ottimale**)”.*<sup>53</sup>

Viene inoltre definito il valore soglia del FLD<sub>m</sub> non inferiore al **2%** per qualsiasi destinazione d'uso, escluse le scuole, per le quali il valore è posto al **3%**.

Per quanto riguarda le schermature solari esse devono avere un valore di trasmissione solare totale accoppiato al vetro uguale o inferiore a **0.35**, come definito nella normativa europea UNI EN 14501.

<sup>53</sup> (D.M. 23 Giugno 2022 n. 256, 2022)

Protocollo	LEED	BREEAM	WELL	ITACA	CAM
Anno	2016	2018	2025	2019	2022
Ambito principale	Certificazione internazionale della sostenibilità ambientale e dell'efficienza energetica	Valutazione della sostenibilità ambientale complessiva dell'edificio	Benessere e salute degli occupanti negli ambienti costruiti	Valutazione della sostenibilità ambientale in Italia (residenziale e non)	Requisiti ambientali per appalti pubblici e progettazione sostenibile
Approccio alla luce naturale	Approccio prestazionale: la luce naturale è considerata nel bilancio energetico e nel comfort visivo.	Approccio integrato: la luce naturale contribuisce sia al comfort che al risparmio energetico. È collegata alle categorie Health and Wellbeing e Energy.	Centrato sul comfort visivo e sul benessere psicofisico. La luce naturale è valutata in relazione ai ritmi circadiani, alla qualità della percezione e alla produttività.	Considera la luce naturale come indicatore di qualità ambientale interna e di comfort visivo.	Approccio prescrittivo: la luce naturale è trattata come requisito di base per garantire comfort e risparmio energetico.
Indici o riferimenti principali	Credit "Daylight" e "Quality Views": daylight autonomy (DA), spatial daylight autonomy (sDA), annual sunlight exposure (ASE)	Credit Hea 01 – Visual Comfort: daylight factor, glare control, view out, zoning	Criteri Light (L01–L08): daylight access, glare control, circadian lighting design, visual comfort.	Categoria Qualità ambientale interna – criterio "Illuminazione naturale": FLD <sub>m</sub> .	Indicazioni nei Criteri per la qualità ambientale interna: FLD <sub>m</sub> , livelli di illuminamento, coeff. di trasmissione tenda + vetro.
Ossezioni	Promuove l'uso di software di simulazione per ottimizzare la distribuzione della luce naturale; approccio tecnico e misurabile.	Forte attenzione agli aspetti misurabili e quantitativi; metodologia basata su simulazioni e verifiche.	Considera la luce naturale come componente fondamentale della salute e del benessere, più che come parametro energetico	Approccio semplificato e normativo, con criteri quantitativi basati su parametri edilizi.	Impostazione normativa e non volontaria; promuove l'uso efficiente della luce naturale come requisito minimo di sostenibilità.

## CAPITOLO

# 5

### **LA NORMATIVA UNI EN 17037: 2021 - APPLICABILITÀ ED ESIGENZA DI REVISIONE**

5.1 La normativa UNI EN 17037: 2021 - "Daylight in buildings"

5.2 Criticità e vantaggi rilevati nei requisiti attuali e limiti di applicabilità

Come illustrato nei capitoli precedenti, la progettazione dell'illuminazione naturale negli edifici non può prescindere da un'adeguata conoscenza delle normative di riferimento, le quali definiscono criteri, requisiti e metodologie per garantire comfort visivo ed efficienza energetica. In questo contesto, la UNI EN 17037:2021 - "Daylight in buildings" rappresenta un punto di riferimento fondamentale, in quanto fornisce indicazioni specifiche sui livelli minimi di illuminazione naturale e sulle strategie progettuali per il benessere degli occupanti. Il presente capitolo si propone di analizzare la normativa UNI EN 17037 focalizzandosi sulle differenze ed unicità rispetto alle altre normative in merito. Verranno approfonditi i criteri di progettazione, le metodologie di calcolo dei requisiti ed i livelli per ogni requisito. L'obiettivo è comprendere come la normativa possa guidare scelte progettuali più consapevoli, supportando simulazioni e soluzioni mirate all'efficienza e al comfort visivo.

# 5.1

## LA NORMATIVA UNI EN 17037:2021 - “DAYLIGHT IN BUILDINGS”

La normativa europea UNI EN 17037:2021 - “Daylight in buildings” <sup>54</sup> è una delle documentazioni cardine per la guida alla progettazione della luce naturale negli edifici.

In confronto alle altre normative tecniche che trattano questo tema, la 17037 è la prima e l'unica a concentrarsi esclusivamente sulla luce naturale come elemento progettuale, definendone i criteri per garantire una buona illuminazione naturale negli ambienti interni, assicurando una corretta percezione di luminosità e una vista verso l'esterno. Include raccomandazioni sull'esposizione al sole, sulla vista verso l'esterno, sul controllo dell'abbagliamento e sull'uso di metriche per valutare la qualità della luce naturale, considerando la sua variabilità nel tempo. Queste indicazioni vengono applicate a tutti gli spazi occupati regolarmente (escludendo quelli in cui la luce naturale ostacola le attività svolte), senza definire delle differenze specifiche in base alle funzioni.

La normativa UNI EN 17037 è unica nel suo genere perchè è la prima ad introdurre metodi di valutazione che utilizzano *metriche dinamiche climate based (CBDM)* per il calcolo della luce naturale. Però, poichè per essere calcolate queste metriche necessitano dell'utilizzo di software avanzati non accessibili a tutti, la normativa propone anche dei metodi di calcolo analitico semplificato per venire incontro a tutti i progettisti.

### 5.1.1 - I criteri di valutazione

Uno dei capitoli centrali della normativa è chiamato “*Valutazioni di luce naturale in spazi interni*”. Tali valutazioni vengono fatte con riferimento a quattro criteri fondamentali che vengono classificati

in tre livelli in base alle prestazioni raggiunte (*Minimum, Medium e High*). L'obiettivo della progettazione è raggiungere almeno il livello minimo per ogni criterio.

I criteri di valutazione sono:

#### 1 - Apporto di luce diurna (Daylight Provision)

“Un ambiente è considerato adeguatamente illuminato se raggiunge un livello di illuminamento target su una frazione del piano di riferimento (con offset dal pavimento pari a 0,85 m) per almeno metà delle ore diurne annuali.”

La **Daylight Provision** della EN 17037 è una versione normativamente standardizzata e semplificata del concetto di *Spatial Daylight Autonomy* (3.3.1 - Spatial Daylight Autonomy). In termini pratici, la valutazione della Daylight Provision può essere assimilata al calcolo della sDA effettuato due volte: la prima considerando una percentuale di spazio di occupazione annuale pari al **50%**, la seconda con una percentuale di spazio del **95%**. I valori di illuminamento target cambieranno in base al requisito: Minumum, Medium, High.

Vengono riportati in apposite tabelle i valori target di illuminamento con la relativa frazione di spazio e i valori minimi di illuminamento con la relativa frazione minima di spazio. La frazione di tempo di ore di luce diurna rimane sempre il 50% delle ore disponibili.

Level of recommendation for vertical and inclined daylight opening	Target illuminance $E_T$ lx	Fraction of space for target level $F_{plane,\%}$	Minimum target illuminance $E_{TM}$ lx	Fraction of space for minimum target level $F_{plane,\%}$	Fraction of daylight hours $F_{time,\%}$
Minimum	300	50 %	100	95 %	50 %
Medium	500	50 %	300	95 %	50 %
High	750	50 %	500	95 %	50 %
NOTE Table A.3 gives target daylight factor ( $D_T$ ) and minimum target daylight factor ( $D_{TM}$ ) corresponding to target illuminance level and minimum target illuminance, respectively, for the CEN capital cities.					

24: Requisiti di apporto di luce naturale in ambienti dotati di aperture verticali o inclinate

Per quanto riguarda gli edifici ad illuminazione zenitale vengono riportati in tabella A.2 soltanto i valori di illuminamento target,

<sup>54</sup> (EN 17037:2018 + A1:2021 - “Daylight in buildings”, 2021)

che corrispondono ai valori minimi per gli edifici ad illuminamento laterale. Questo poiché si ritiene che l'illuminazione zenitale permetta un illuminamento più omogeneo ed elevato e quindi adeguato al raggiungimento dei livelli di classificazione. In questo caso il valore target è richiesto sul 95% dello spazio.

Level of recommendation for horizontal daylight opening	Target illuminance $E_T$ lx	Fraction of space for target level $F_{plane,\%}$	Fraction of daylight hours $F_{time,\%}$
Minimum	300	95 %	50 %
Medium	500	95 %	50 %
High	750	95 %	50 %
NOTE Tables A.3 and A.4 give target daylight factor ( $D_T$ ) corresponding to target illuminance level for the CEN capital cities. Note, that for spaces with horizontal daylight openings, there is no minimum target illuminance recommendations. Table A.4 is only for horizontal daylight openings with diffusing material.			

25: Requisiti di apporto di luce naturale in ambienti dotati di aperture orizzontali

La valutazione può essere fatta tramite due metodi: con il Daylight Factor (Metodo 1) o usando dati climatici locali (Metodo 2). La verifica può avvenire con simulazioni software o misurazioni in situ.

Per quanto riguarda il Metodo 1 vengono riportati i valori di Daylight Factor minimo da raggiungere per città a diverse

Nation	Capital <sup>a</sup>	Geographical latitude $\varphi$ [°]	Median External Diffuse Illuminance $E_{V,d,med}$	$D$ to exceed 100 lx	$D$ to exceed 300 lx	$D$ to exceed 500 lx	$D$ to exceed 750 lx
Cyprus	Nicosia	34,88	18 100	0,6 %	1,7 %	2,8 %	4,1 %
Malta	Valletta	35,54	16 500	0,6 %	1,8 %	3,0 %	4,5 %
Greece	Athens	37,90	19 400	0,5 %	1,5 %	2,6 %	3,9 %
Portugal	Lisbon	38,73	18 220	0,5 %	1,6 %	2,7 %	4,1 %
Turkey	Ankara	40,12	19 000	0,5 %	1,6 %	2,6 %	3,9 %
Spain	Madrid	40,45	16 900	0,6 %	1,8 %	3,0 %	4,4 %
Italy	Rome	41,80	19 200	0,5 %	1,6 %	2,6 %	3,9 %
Former Yugoslav Republic of Macedonia	Skopje	42,00	15 400	0,6 %	1,9 %	3,2 %	4,9 %
Bulgaria	Sofia	42,73	18 700	0,5 %	1,6 %	2,7 %	4,0 %
Romania	Bucharest	44,50	18 200	0,5 %	1,6 %	2,7 %	4,1 %
Croatia	Zagreb	45,48	17 000	0,6 %	1,8 %	2,9 %	4,4 %
Slovenia	Ljubljana	46,22	17 000	0,6 %	1,8 %	2,9 %	4,4 %
Switzerland	Bern	46,25	16 000	0,6 %	1,9 %	3,1 %	4,7 %

26: Valori di luce naturale relativi alle aperture per l'illuminazione naturale necessari a superare un livello di illuminamento di 100, 300, 500 o 750 lx per una frazione delle ore di luce  $F_{time,\%}$  pari al 50% nelle 33 capitali dei Paesi membri del CEN

latitudini e ottenere i relativi valori di illuminamento nel piano di riferimento.

Per quanto riguarda il metodo 2 che prevede le metriche dinamiche CBDM, vengono fornite le indicazioni per svolgere una corretta simulazione.

Il calcolo della *Daylight Provision* tramite metriche dinamiche deve essere fatto considerando sia la **componente diffusa che diretta della luce diurna** come si può trovare nei file climatici standardizzati. Vanno inoltre considerate solo la **metà delle ore di luce diurna**.

2 - Vista verso l'esterno (View Out)

La norma valorizza la possibilità di guardare all'esterno per garantire comfort visivo e benessere per contrastare la fatica visiva che insorge trascorrendo lunghi periodi in ambienti chiusi. Il criterio dipende dalla presenza di uno o più **layer visivi** (cielo, paesaggio, suolo), dalla grandezza della finestra, dall'**angolo orizzontale minimo** e da una **distanza minima dalla vista esterna**, per i quali vengono forniti i valori relativi ai livelli del criterio.

	Parameter <sup>a</sup>		
Level of recommendation for view out	Horizontal sight angle	Outside distance of the view	Number of layers to be seen from at least 75 % of utilized area: - sky - landscape (urban and/or nature) - ground
Minimum	≥ 14°	≥ 6,0 m	At least landscape layer is included
Medium	≥ 28°	≥ 20,0 m	Landscape layer and one additional layer is included in the same view opening
High	≥ 54°	≥ 50,0 m	all layers are included in the same view opening
<sup>a</sup> For a space with room depth more than 4 m, it is recommended that the respective sum of the view opening(s) dimensions is at least 1,0 m × 1,25 m (width × height).			

27: Valutazione della vista verso l'esterno da una determinata posizione

Anche per la View out Analysis sono previsti due metodi di verifica: uno semplificato e uno avanzato con software dedicati. I parametri di verifica rimangono gli stessi per i due metodi, quelli presenti nella tabella precedente.

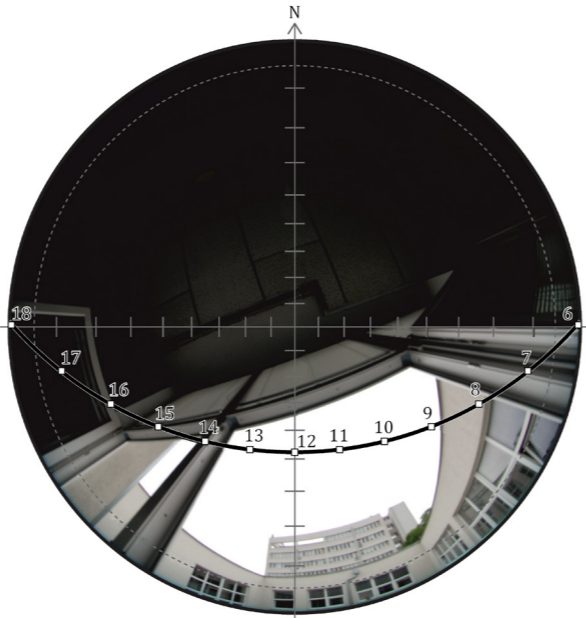
3 - Esposizione alla luce solare (Exposure to Sunlight)

In alcuni spazi, come abitazioni, ospedali e asili, è richiesto un minimo numero di ore annuali di esposizione alla luce solare diretta, da calcolare in un giorno a scelta di un arco temporale tra il **1° febbraio** e il **21 marzo**, con il proposito che almeno una stanza abitabile dell'appartamento riceva luce solare diretta. I livelli di categoria vengono assegnati secondo la tabella A.6. La verifica può avvenire tramite metriche dinamiche, misurazioni geometriche o fotografie con lente fish-eye.

Level of recommendation for exposure to sunlight	Sunlight exposure
Minimum	1,5 h
Medium	3,0 h
High	4,0 h

28: Valori raccomandati per l'esposizione alla luce solare

Il metodo di calcolo con fotografia di tipo fish-eye prevede la realizzazione di tale foto in corrispondenza del vetro interno della finestra rivolta verso l'alto. Lo step successivo prevede l'ottenimento della mappa solare della località in cui si sta svolgendo il calcolo, nella quale verranno evidenziati i percorsi solari dei giorni 1° febbraio e 21 marzo. Infine, bisognerà sovraimprimere la mappa solare all'immagine fish-eye generata (Immagine 29). In questo modo sarà possibile capire per quante ore il sole arriverà nell'ambiente, guardando quali delle ore evidenziate nella mappa solare saranno visibili dalla finestra.



29. Verifica della durata dell'irraggiamento solare mediante una videocamera dotata di lente fish-eye. Percorso solare selezionato per il 21 marzo con scala temporale.

4 - Protezione dall'abbagliamento (Protection from Glare)

*“L'abbagliamento da luce naturale è dovuto a superfici riflettenti con luminanza maggiore della luminanza a cui l'occhio è abituato, provocando discomfort e perdita in prestazioni visive.”*

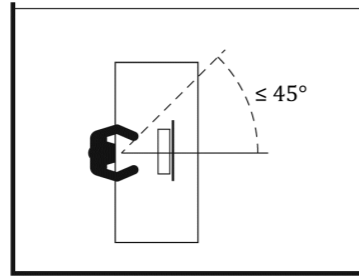
Viene valutato tramite l'indice DGP (Daylight Glare Probability) ed è particolarmente rilevante in ambienti dove si svolgono attività visive prolungate ed impegnative. La norma fornisce dei valori massimi di DGP da rispettare e suggerisce l'uso di schermature adeguate. Infine, propone metodi semplificati o simulazioni annuali per la verifica.

La raccomandazione minima per la protezione dal glare è che la Daylight Glare Probability (DGP) non deve eccedere il valore di 0,45 per più del 5% del tempo nella postazione rilevante. Vengono comunque forniti i livelli di protezione dall'abbagliamento in tabella A.7.

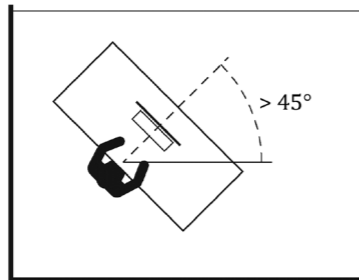
Level of recommendation for glare protection	DGP <sub>e</sub> < 5 %
Minimum	0,45
Medium	0,40
High	0,35

30: Valori soglia proposti differenti di DGP<sub>e</sub> < 5% per la protezione dall'abbagliamento

Viene illustrato come svolgere il calcolo per la Glare Protection, a partire dal profilo di occupazione, che deve essere dalle 8 alle 18 dal lunedì al venerdì. Viene inoltre indicato di aumentare a 1.2m di altezza dal pavimento la posizione della griglia di calcolo. Poiché per la formula del DGP consideriamo l'angolo solido sotteso dalla fonte di abbagliamento ( $\omega_s$ ), non si può effettuare il calcolo solo con i punti della griglia, ma bisogna considerare una serie di angoli solidi che insistono su ogni punto. La normativa indica di calcolare il DGP secondo le due direzioni in cui si ritiene più probabile che sia collocato una postazione di lavoro di un utente, quindi a 90° (VD<sub>p</sub>) e a 45° (VD<sub>f</sub>) rispetto alla finestra, rivolti verso destra e verso sinistra, secondo le figure E.1 ed E.2.



31. Le direzioni di visione VDP (direzione di visione parallela alla facciata con un angolo massimo di visione rispetto alla facciata di  $45^\circ$ ).



32. Le direzioni di visione VDF (direzione di visione verso la facciata con un angolo di visione rispetto alla facciata superiore a  $45^\circ$ ).

# 5.1

## ESIGENZA DI REVISIONE E APPLICABILITÀ DELLA NORMATIVA UNI EN 17037:2021

### 5.1.1 - Criticità e vantaggi rilevati nei requisiti attuali e limiti di applicabilità

Come primo esempio di analisi è stato scelto uno studio condotto nel 2022 presso il *Department of Civil Engineering and Architecture della Tallinn University of Technology*. Il lavoro svolto si prefigge di *“valutare la validità degli standard relativi alla luce diurna, come la norma EN 17037:2021, in contesti locali specifici quali i climi freddi (...) studiare l'applicabilità della norma EN 17037:2021 in un determinato contesto culturale attraverso il confronto tra la percezione soggettiva degli utenti degli uffici estoni e la valutazione quantitativa definita dalla norma EN 17037:2021, che comprende quattro aspetti: accesso alla luce solare, vista verso l'esterno, fornitura di luce naturale e protezione dall'abbagliamento. Al fine di studiare l'applicabilità della norma EN 17037:2021 agli spazi degli uffici estoni, abbiamo utilizzato un approccio misto basato su interviste semi-strutturate, misurazioni e simulazioni della luce naturale.”*<sup>55</sup>

Nel loro studio, Sepúlveda e colleghi evidenziano come l'applicazione della norma EN 17037:2021 presenti diversi limiti che ne condizionano la reale efficacia progettuale. Gli autori sottolineano innanzitutto la **scarsa capacità della norma di adattarsi a contesti climatici e culturali differenti**. Le soglie di esposizione solare, ad esempio, si sono rivelate poco adatte al caso estone. Sebbene la norma consideri positivamente la presenza di ore di soleggiamento diretto, gli utenti degli uffici intervistati hanno mostrato di percepirla prevalentemente come fonte di abbagliamento e disagio visivo, piuttosto che come elemento di comfort.

Gli studiosi mettono inoltre in luce la rigidità di alcuni criteri quantitativi, in particolare quelli relativi alla **qualità della vista verso l'esterno**. Secondo la norma, parametri come il numero di strati visivi o la distanza minima dell'ostruzione garantirebbero un adeguato livello di comfort; tuttavia, i risultati dell'indagine mostrano come gli occupanti percepiscano negativamente viste dominate da edifici vicini, pur essendo conformi alle prescrizioni. Questo scollamento tra valutazioni normative e percezioni soggettive conferma la difficoltà della EN 17037 nel tradurre la complessità del fenomeno luminoso in indicatori universalmente validi.

Un'ulteriore criticità individuata dagli autori riguarda la **coesistenza della norma europea con regolamenti nazionali** ancora in vigore, basati su metriche diverse come il Daylight Factor. Tale sovrapposizione può creare confusione per i progettisti, poiché la conformità a un criterio locale non implica necessariamente il rispetto delle soglie previste dalla EN 17037, con il rischio di produrre esiti progettuali contraddittori. La norma, infatti, a differenza dei regolamenti nazionali locali, contiene dei requisiti consigliati e non obbligatori, portando il progettista, nel caso in cui si ritrovasse a dover scegliere, a protendere verso le indicazioni nazionali.

D'altro canto, riguardo al rapporto con altre metriche, gli autori riconoscono alla norma EN 17037:2021 il merito di rappresentare un passo importante nell'evoluzione della progettazione della luce naturale in ambito europeo.

Per la prima volta, infatti, viene introdotto un quadro normativo unitario che supera i limiti del tradizionale approccio basato esclusivamente sul Daylight Factor, considerato ormai insufficiente a descrivere la complessità del fenomeno luminoso. Inoltre, viene messa in evidenza la natura generalista della norma, che non distingue in modo puntuale tra differenti tipologie edilizie. Applicare gli stessi criteri a residenze, uffici, scuole o edifici industriali può portare a prescrizioni poco significative rispetto alle reali necessità di ciascun ambito, con il rischio di ridurre l'efficacia della valutazione.

<sup>55</sup> (Sepúlveda et al., 2022)

Gli autori riscontrano che l'applicazione della normativa porta anche dei vantaggi, primo tra tutti l'approccio multidimensionale che riconosce la **centralità dell'esperienza percettiva degli utenti**, andando oltre le prestazioni illuminotecniche. L'inclusione di criteri relativi alla vista verso l'esterno o alla protezione dall'abbagliamento molesto contribuisce a delineare una concezione più olistica del comfort ambientale, che integra dimensioni psicologiche e fisiologiche spesso trascurate nelle precedenti normative.

Un ulteriore punto di forza individuato nello studio riguarda l'introduzione di metodi di valutazione basati su simulazioni climatiche annuali (climate-based daylight modelling), in grado di restituire un quadro più realistico delle condizioni di luce negli spazi interni. Rispetto agli approcci statici, queste simulazioni consentono di rappresentare la variabilità stagionale e giornaliera della luce naturale, fornendo strumenti più accurati per la progettazione e la verifica prestazionale.

La norma, inoltre, offre una struttura flessibile grazie alla definizione di diversi livelli di raccomandazione (minimo, medio, alto), permettendo ai progettisti di calibrare le soluzioni in funzione delle esigenze specifiche del progetto e degli obiettivi di qualità perseguiti. Questa **gradualità**, osservano gli autori, facilita sia l'applicazione in contesti con vincoli stringenti, sia l'adozione di standard più ambiziosi nei progetti che mirano a un comfort superiore.

Il secondo caso analizzato è uno studio compiuto nel 2023 dalla *Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology* riguardo la metodologia di calcolo della daylight provision della normativa negli edifici residenziali e scolastici.<sup>56</sup> Lo studio si propone di valutare i metodi di calcolo con software CBDM e con il metodo del DF target illustrati dalla normativa. Tali calcoli vengono fatti in casi studio residenziali e scolastici di diversi paesi europei quali Germania, Repubblica Ceca, Slovacchia e Svizzera.

Nello studio, Hraška e Čurpek riconoscono alcuni aspetti positivi introdotti dalla norma EN 17037, in particolare l'allineamento ai metodi climatici di **simulazione annuale CBDM**, che consentono valutazioni più realistiche e aderenti al contesto locale rispetto al tradizionale approccio statico basato sul solo Daylight Factor. Gli autori sottolineano come la possibilità di adottare sia il metodo fondato sul DF "target", legato alla tradizione normativa europea, sia quello basato su simulazioni dinamiche rappresenti un'opportunità di transizione graduale: da un lato, si introduce una metodologia innovativa e più accurata; dall'altro, si mantiene una continuità con le prassi consolidate, agevolando la diffusione della norma tra i professionisti.

Accanto a questi elementi di innovazione, lo studio mette però in luce numerose criticità. Una prima questione riguarda l'**uniformità dei target fissati dalla norma**, identici per tutte le tipologie di spazi indipendentemente dalla funzione d'uso. Nel caso residenziale, tali valori risultano spesso eccessivamente ambiziosi, difficilmente raggiungibili senza l'impiego di superfici vetrate molto ampie, che risulterebbero poco sostenibili sia dal punto di vista energetico sia in relazione al controllo del surriscaldamento estivo.

Gli autori segnalano inoltre alcune **ambiguità metodologiche**. L'ammissione di due metodi differenti porta a risultati anche molto distanti tra loro, con differenze che possono raggiungere decine di punti percentuali nei casi più sfavorevoli. A ciò si aggiunge la dipendenza dai software e da alcune impostazioni di calcolo, come il comportamento degli utenti o l'uso delle schermature,

<sup>56</sup> (Hraška & Čurpek, 2024)

che, non essendo specificate, rende la norma poco verificabile in termini di conformità. Per quanto riguarda l'utilizzo della tenda, infatti, la normativa non contiene alcuna specifica sulle modalità di apertura e chiusura, limitandosi a suggerire che *“gli elementi oscuranti dovrebbero essere considerati”*. L'applicazione di una **schedule annuale univoca** permetterebbe invece una maggiore uniformità sui risultati relativi questo elemento.

Le simulazioni condotte nel lavoro mostrano come l'impatto progettuale della EN 17037 vari sensibilmente a seconda della tipologia edilizia. Nel residenziale, con ostruzioni contenute (*Obstruction Angle* < 35°), la norma può consentire aperture più ridotte rispetto agli standard nazionali precedenti, con riduzioni della larghezza finestra comprese tra il 10% e il 50%. In condizioni più gravose, al contrario, la norma richiede incrementi notevoli delle superfici finestrate, fino a oltre l'80%, rendendo difficoltosa la realizzazione di locali profondi nei contesti urbani più densi. Diverso il caso delle scuole: rispetto allo standard slovacco, che richiede un DF pari ad almeno il 1,5% su ogni banco, la EN 17037 risulta meno stringente. Dalle simulazioni risulta, infatti, che l'altezza minima delle finestre si riduce da 2,4 m a circa 1,7 m; ciò comporta che l'illuminamento minimo di 100 lux al fondo dell'aula sia garantito solo per circa metà del tempo di insegnamento, con un peggioramento rispetto alle condizioni di illuminamento che le norme nazionali miravano a garantire.

A queste problematiche si somma la **manca di una reale armonizzazione europea**. Alcuni Paesi, come il Regno Unito, hanno già introdotto allegati nazionali per ridurre i requisiti ritenuti troppo elevati per le abitazioni, mentre la Germania ha scelto di non recepire integralmente i target della EN 17037 per il settore residenziale. Questa eterogeneità testimonia la difficoltà di applicare uniformemente le prescrizioni della norma e la necessità di adattarle alle diverse condizioni culturali, climatiche e tipologiche.

In conclusione, per Hraška e Čurpek la EN 17037 rappresenta un passo avanti significativo verso una progettazione illuminotecnica più legata al contesto climatico e supportata da simulazioni

avanzate. Tuttavia, la rigidità dei requisiti, le incoerenze metodologiche e l'assenza di criteri calibrati sulle diverse funzioni edilizie rischiano di produrre risultati paradossali: da un lato spingere il residenziale verso soluzioni con superfici vetrate di dimensioni esagerate, dall'altro ridurre le garanzie minime di comfort in ambito scolastico. Gli autori propongono quindi un approccio più pragmatico e ibrido, che privilegi criteri semplici e localmente adattati nelle fasi preliminari, riservando le simulazioni climatiche annuali ai casi più complessi, mantenendo al centro la salute, il comfort e la sostenibilità complessiva degli edifici.

Un terzo punto di vista arriva dal contributo di una tesi del 2023 prodotta da studenti del *Master in Energy-efficient and Environmental Buildings, Faculty of Engineering della Lund University*.<sup>57</sup>

La tesi in questione analizza e confronta i requisiti delle regolamentazioni locali legati al *Daylight Factor* con quelli della UNI 17037 riguardanti la *Daylight Provision* in 30 esempi di edifici residenziali in Svezia. L'obiettivo è quello di confrontare il comportamento della luce negli ambienti considerati in relazione alle due metriche confrontate e al contesto urbano selezionato. Questa tesi offre un punto di vista interessante, poiché pone in relazione i requisiti della normativa europea con la pianificazione urbana, aprendo così un nuovo tema utile per l'analisi.

Gli autori di questa tesi sostengono che l'applicazione rigida dei requisiti minimi può trasformarsi in un vincolo eccessivamente stringente quando tradotto in **parametri urbanistici**, al punto da limitare la realizzazione di quartieri compatti e densi, che sono invece fondamentali per ridurre il consumo di suolo e favorire la mobilità sostenibile. Per garantire i valori minimi di luce naturale, infatti, spesso sarebbe necessario aumentare le distanze tra edifici o ridurre le altezze, compromettendo così la **densità urbana** e rendendo più difficile perseguire una città compatta ed efficiente.

Un'ulteriore difficoltà riguarda l'**applicazione operativa** della norma nella pratica pianificatoria. La verifica dei requisiti di illuminamento minimo richiede infatti strumenti di simulazione avanzati e competenze tecniche che non sempre sono disponibili negli uffici tecnici delle amministrazioni, soprattutto in contesti medio-piccoli.

La riflessione sulla UNI EN 17037 continua con un contributo che arriva dallo studio pubblicato dall' *Energy and Building Design, Department of Architecture and Built Environment* della Lund University nel 2020<sup>58</sup>, nel quale viene confrontato il requisito di *Sunlight Exposure* della norma con una metrica alternativa di valutazione della luce naturale negli spazi residenziali. In particolare, l'analisi si concentra sul confronto con la **Sunlight Autonomy**, una metrica che calcola la *percentuale di tempo in cui una determinata superficie riceve un livello definito di irraggiamento diretto*, ampliando così la prospettiva offerta dalla norma europea.

L'indagine mette in luce diverse criticità. La EN 17037 definisce l'esposizione al sole in modo relativamente semplificato, senza distinguere tra stagioni o condizioni climatiche specifiche. Il confronto con la Sunlight Autonomy ha mostrato che i risultati possono cambiare drasticamente: a seconda del periodo temporale scelto (es. "fine della giornata" o "50% dell'anno"), la percentuale di ambienti che rispettano il requisito può variare fino al 63%. Ciò dimostra che le soglie fissate dalla EN 17037 non sempre restituiscono un quadro fedele della **reale disponibilità di sole** all'interno degli ambienti, rischiando di produrre valutazioni incoerenti. La norma appare inoltre poco rappresentativa nei contesti nordici, dove la ridotta disponibilità di irraggiamento diretto nei mesi invernali può portare a sottostimare il contributo della luce naturale durante la stagione estiva.

Un'ulteriore limitazione riguarda la **scarsa integrazione con la geometria urbana**: sebbene la norma prenda in considerazione il fattore di luce diurna e l'esposizione solare, non fornisce indicazioni specifiche per adattare i requisiti alla densità edilizia o alla morfologia urbana. Questo porta a situazioni paradossali, in cui ambienti identici risultano conformi o non conformi a seconda del contesto urbano in cui sono inseriti.

<sup>57</sup> (Šprah & Košir, 2020)

<sup>58</sup> (Bournas, 2020)

Un ulteriore contributo significativo alla discussione sull'applicabilità della norma EN 17037 proviene dal recente studio di Jin et al. (2025) pubblicato sulla rivista *Lighting Research & Technology*, condotto presso il *Department of Building and Environmental Technology* della Lund University.

Il lavoro, dal titolo *"Proposal for revised criteria for daylight provision in the European daylight standard based on calculations for Swedish multifamily residential buildings"*,<sup>59</sup> si inserisce nel dibattito europeo riguardante la revisione dei criteri di daylight provision della normativa EN 17037, con l'obiettivo di proporre soglie più realistiche e applicabili nel contesto residenziale, prendendo come riferimento il caso svedese.

Gli autori muovono dal presupposto che gli attuali requisiti di illuminamento della norma risultino eccessivamente ambiziosi, tanto da ostacolare la loro integrazione nei regolamenti nazionali. In particolare, la complessità del metodo e la severità delle soglie luminose fissate rendono difficile il raggiungimento della conformità negli edifici multifamiliari dei Paesi nordici, dove la densità urbana e l'altezza degli edifici limitano fortemente l'accesso alla luce naturale. Per questo motivo, lo studio si propone di elaborare criteri alternativi, più flessibili ma coerenti con l'impianto concettuale della norma, capaci di garantire un'adeguata disponibilità di luce naturale senza compromettere la sostenibilità energetica e la densità urbana.

La ricerca si basa su un'ampia campagna di simulazioni climatiche annuali CBDM effettuate su 30 edifici residenziali rappresentativi del patrimonio edilizio svedese, per un totale di 3562 ambienti analizzati.

Le simulazioni, condotte attraverso il software *Honeybee*, hanno confrontato differenti metodologie di valutazione:

1. il metodo del Daylight Factor (DF) previsto sia dalla normativa svedese che dalla EN 17037,
2. il metodo basato sull'illuminamento (**illuminance-based method**) della stessa norma,

3. il metodo della Spatial Daylight Autonomy (sDA) definito dallo standard **IES LM-83-12**,

4. una **analisi parametrica (PR-IL)** che ha testato diverse combinazioni di valori soglia di illuminamento (100–300 lx) e percentuali di area illuminata (30–95%).

I risultati confermano la **difficoltà di applicazione della norma europea nel contesto scandinavo**: solo il 16% dei locali rispetta i requisiti minimi previsti dal metodo del DF della EN 17037 e il 32% quelli derivanti dal metodo illuminance-based, a fronte di un 66% di conformità ai parametri della normativa svedese in vigore. Questa discrepanza mette in evidenza come la norma europea definisca obiettivi di illuminamento troppo elevati per gli edifici residenziali esistenti, imponendo talvolta rapporti finestra/pavimento (WFR) superiori al 20%, con conseguenti problemi di surriscaldamento estivo e inefficienza energetica. Le simulazioni mostrano inoltre una notevole **variabilità della conformità in funzione della tipologia edilizia e del contesto urbano**: gli edifici a corte chiusa o postmoderni, caratterizzati da alti livelli di auto-ombreggiamento, risultano i più penalizzati, mentre i corpi isolati o le torri puntiformi raggiungono prestazioni migliori grazie a un maggiore accesso diretto alla luce.

Sulla base dell'analisi parametrica, Jin e colleghi propongono due diverse strategie di revisione della norma:

- Un criterio a **illuminamento fisso**, in cui il livello di illuminamento minimo (**150, 200 o 300 lx**) rimane costante, mentre varia la percentuale di area illuminata richiesta in funzione del livello di ambizione (minimo, medio, alto).
- Un criterio a **frazione d'area fissa**, in cui la percentuale di area illuminata (**55% o 75%**) è mantenuta costante, ma cambia il livello di illuminamento richiesto.

Per la **soglia minima** di ambizione, gli autori propongono di garantire **150 lx** su almeno il **55–60% della superficie dell'ambiente** per il **50% delle ore diurne**, condizione che rispecchia il tasso di conformità della normativa nazionale svedese.

<sup>59</sup> Jin et al., 2025)

Livelli di ambizione più elevati corrispondono invece a **200 lx** sul **55%** o **300 lx** sul **75% dell'area utile**. Queste combinazioni, più flessibili rispetto ai doppi vincoli della norma EN 17037 (che richiede simultaneamente uniformità e soglia minima), consentirebbero al progettista di calibrare le scelte architettoniche in base al contesto e alla destinazione d'uso, evitando eccessi di vetratura o profondità eccessive degli ambienti.

Dal punto di vista critico, lo studio evidenzia alcuni limiti residui. Anche con i nuovi parametri, **la conformità risulta problematica nei contesti urbani ad alta densità**, dove angoli d'ostruzione superiori a 30° rendono difficilmente raggiungibili i valori minimi senza incrementare il WFR, con conseguenti rischi di surriscaldamento e incremento dei fabbisogni energetici. Inoltre, l'assenza di considerazioni sull'uso di schermature o comportamenti degli utenti riduce la rappresentatività delle simulazioni rispetto alla realtà d'uso quotidiana. Gli autori stessi riconoscono che i criteri proposti, pur fondati su un caso nazionale, dovranno essere testati in altri contesti europei per verificarne la generalizzabilità.

Nonostante tali limiti, lo studio di Jin et al. costituisce un importante tentativo di mediazione tra rigore normativo e praticabilità progettuale, suggerendo una revisione pragmatica della EN 17037. Il principale merito del lavoro risiede nella sua capacità di coniugare il linguaggio tecnico della norma con la realtà del progetto, restituendo al progettista margini di flessibilità oggi assenti e promuovendo un approccio più aderente alla diversità climatica e morfologica dei contesti europei. La proposta, pur semplificando le modalità di calcolo, non rinuncia alla qualità percettiva e fisiologica del comfort luminoso, mantenendo come riferimento la durata dell'esposizione alla luce naturale e la variabilità stagionale.

In conclusione, la ricerca di Jin e colleghi rappresenta un passo avanti significativo verso l'evoluzione della normativa europea sulla luce naturale, ponendo le basi per una EN 17037 più inclusiva e applicabile, capace di contemperare

esigenze energetiche, densità urbana e benessere visivo. La sfida che emerge da questo studio è quella di costruire una norma dinamica, adattabile ai contesti climatici e tipologici, in grado di guidare la progettazione non solo verso la conformità, ma verso una reale qualità luminosa e ambientale degli spazi abitativi.

### 5.1.2 - Conclusioni

Il capitolo 5 si configura come un'analisi critica approfondita sullo stato di applicabilità e sulle prospettive di revisione della norma EN 17037, mettendone in luce l'ambivalenza: da un lato, il valore innovativo dell'approccio multidimensionale introdotto; dall'altro, le criticità legate alla sua universalità astratta.

Dall'analisi della letteratura emerge un quadro chiaro: la EN 17037 rappresenta un passo avanti fondamentale nella cultura del progetto illuminotecnico, grazie all'introduzione di parametri legati non solo alla quantità di luce (Daylight Factor o illuminance-based methods), ma anche a dimensioni qualitative come la vista verso l'esterno, l'abbagliamento e l'accesso solare. Tuttavia, la sua applicabilità operativa risulta fortemente condizionata dal contesto climatico, culturale e tipologico in cui viene adottata.

In particolare, gli studi presi in esame convergono su due punti chiave:

- **Eccessiva rigidità e scarsa adattabilità climatica.**

La norma nasce come tentativo di armonizzazione europea, ma si rivela inadeguata nel cogliere le differenze sostanziali tra le diverse latitudini e morfologie urbane. Sia Sepúlveda et al. (Tallinn, 2022) che Hraška e Čurpek (Bratislava, 2023) evidenziano come le soglie luminose fissate risultino troppo elevate nei climi nordici, dove la luce solare diretta può trasformarsi più in fonte di abbagliamento che in comfort.

- **Difficile applicazione in contesti urbani densi.**

La tesi della Lund University (2023) e lo studio di Jin et al. (2025) aprono una riflessione di ampio respiro sull'interazione tra daylight provision e pianificazione urbana. L'applicazione rigida della norma, infatti, rischia di entrare in conflitto con i principi di densificazione e sostenibilità urbana, imponendo distanze tra edifici o dimensioni finestrate incompatibili con la morfologia compatta delle città europee contemporanee.

Parallelamente, tutti gli studi riconoscono anche i valori positivi introdotti dalla norma: la volontà di superare il tradizionale

approccio statico, la centralità assegnata alla percezione umana e la promozione di strumenti di simulazione climaticamente coerenti (CBDM) come nuova base per la progettazione.

In questo senso, il contributo di Jin et al. (2025) rappresenta una sintesi evolutiva del dibattito: il lavoro non si limita a evidenziare le criticità, ma formula una proposta operativa concreta di revisione dei criteri di daylight provision, più flessibile e calibrata sul contesto reale. La logica di soglie variabili (150–200–300 lx) e percentuali d'area adattive (55–75%) introduce un **principio di gradualità** che, se recepito a livello europeo, potrebbe rendere la norma realmente applicabile in ambito residenziale, senza rinunciare agli obiettivi di qualità luminosa e comfort visivo.

In conclusione, il capitolo evidenzia come la sfida principale per il futuro della EN 17037 non risieda tanto nella definizione di nuovi valori soglia, quanto nella costruzione di una **struttura normativa più dinamica, contestuale e adattiva**, capace di integrare le diverse esigenze climatiche, tipologiche e culturali dei Paesi europei. Solo una revisione basata su **criteri di flessibilità**, contestualizzazione e misurabilità potrà rendere la norma uno strumento realmente efficace per la qualità del progetto architettonico e per il benessere visivo degli utenti.

## CAPITOLO

### **SIMULAZIONI DI LUCE NATURALE NELL'EDILIZIA ITALIANA**

---

6.1 Criteri di selezione dei casi studio

6.2 Definizione dei modelli e dei parametri simulativi

6.3 Simulazione di luce naturale: valutazione e selezione del software

6.4 Risultati

Il seguente capitolo presenta il percorso simulativo svolto per verificare l'applicazione dei requisiti della norma UNI EN 17037 alla realtà edilizia italiana. L'obiettivo principale dell'analisi è stato quello di valutare le prestazioni luminose di tre tipologie edilizie rappresentative – industriale, residenziale e uffici – in diverse aree climatiche del Paese, al fine di comprendere in che misura le prescrizioni europee risultino adeguate ai contesti costruttivi e ambientali italiani.

La metodologia adottata si è basata su un approccio simulativo integrato, che ha previsto la modellazione digitale degli edifici e la successiva analisi dinamica della luce naturale attraverso i software ClimateStudio e Honeybee.

Le simulazioni sono state condotte considerando differenti i parametri di illuminazione, fattori di riflessione, sistemi oscuranti e condizioni climatiche reali, così da garantire risultati comparabili e coerenti con le metriche previste

dalla norma.

I risultati ottenuti hanno evidenziato un comportamento fortemente dipendente dalla tipologia edilizia e dal sistema di illuminazione adottato.

Gli edifici industriali, grazie all'uso di sistemi zenitali diffondenti, hanno mostrato prestazioni luminose elevate e uniformi. Le simulazioni per gli edifici residenziali hanno invece messo in luce la grande variabilità dei risultati in relazione all'orientamento e al contesto urbano, mentre gli edifici per uffici hanno raggiunto buoni livelli di illuminazione naturale, confermando l'importanza del controllo dell'abbagliamento tramite sistemi oscuranti.

Nel complesso, l'analisi ha permesso di verificare criticamente la coerenza tra i criteri normativi e la realtà edilizia italiana, fornendo indicazioni utili per una loro futura integrazione o adattamento.

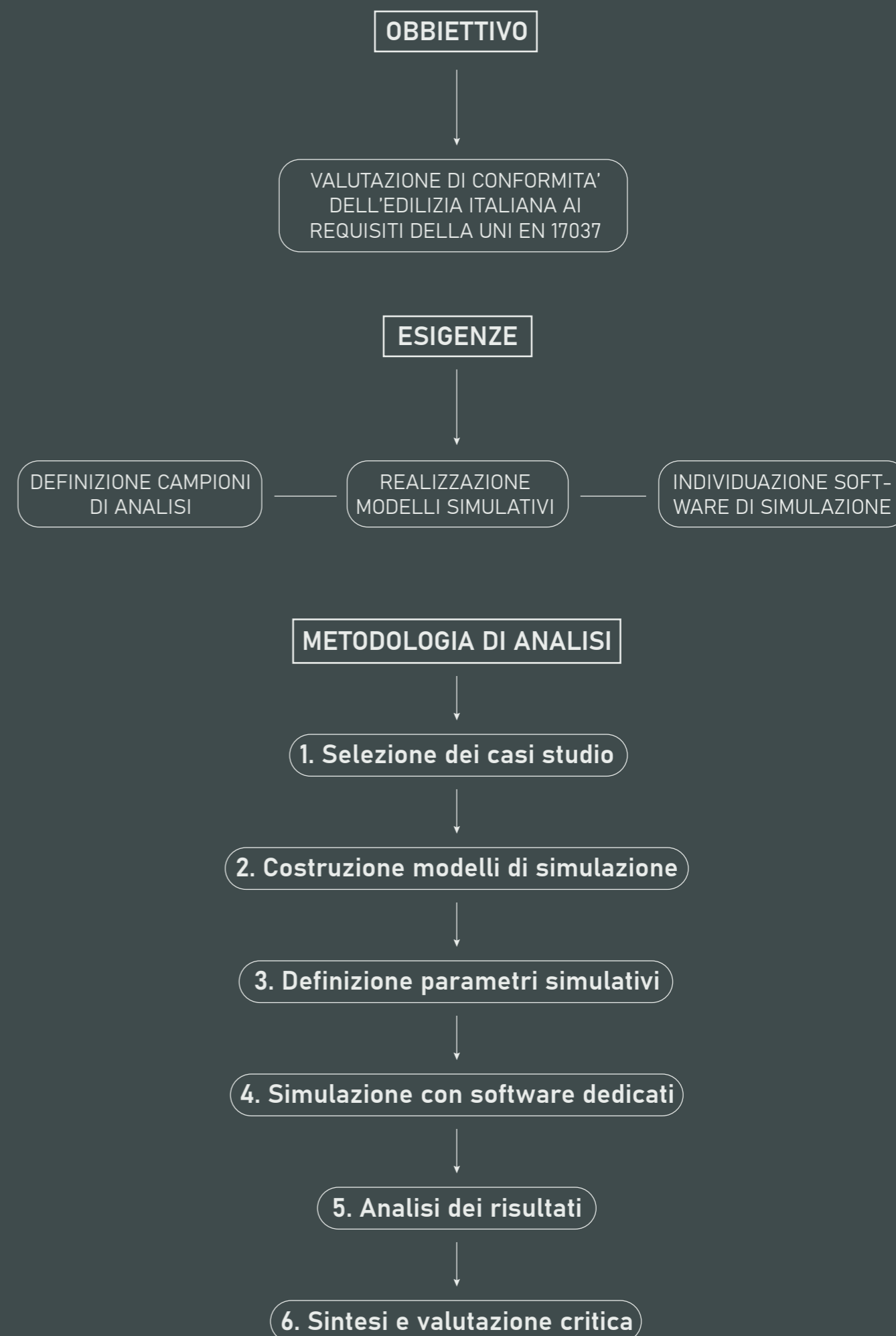
### OBIETTIVI DEL LAVORO SVOLTO

L'obiettivo del lavoro è stato quello di **analizzare tramite un approccio simulativo il comportamento degli edifici del territorio italiano rispetto alla disponibilità di luce naturale e valutarne il livello di conformità ai requisiti stabiliti dalla UNI EN 17037.**

Per realizzare tale scopo è stato necessario in primo luogo **definire un campione di analisi rappresentativo**, individuando tre città italiane in grado di riflettere le diverse condizioni climatiche e geografiche del territorio nazionale. Successivamente sono stati selezionate tre tipologie edilizie di riferimento: industriale, residenziale e per uffici. Per ogni città è stato dunque opportuno scegliere un caso studio appartenente ad ognuno dei tre archetipi.

La seconda esigenza necessaria per lo svolgimento di questo lavoro è stata la realizzazione dei **modelli simulativi** relativi ai casi studio individuati.

In questa fase, particolare attenzione è stata posta alla definizione dei parametri di simulazione, quali materiali, condizioni di cielo e configurazione delle aperture con l'intento di garantire risultati



coerenti e comparabili tra le diverse tipologie edilizie e i diversi contesti climatici.

Infine è stato necessario individuare uno o più **software di riferimento** per svolgere le simulazioni di luce naturale e verificare i requisiti presentati nella normativa in esame.

## **METODOLOGIA DI ANALISI**

Il lavoro è stato articolato in una sequenza di fasi consecutive, dalle quali si è giunti ai risultati finali attraverso un processo di modellazione, simulazione e confronto critico.

### **Il processo metodologico:**

#### **1. Selezione dei casi studio**

Individuazione di edifici rappresentativi delle tre principali tipologie edilizie italiane e collocati in tre fasce climatiche (Nord, Centro, Sud).

#### **2. Costruzione dei modelli simulativi**

Modellazione tridimensionale degli edifici realizzata in Rhinoceros, includendo il contesto urbano e le caratteristiche materiche rilevanti ai fini della riflessione e trasmissione luminosa.

#### **3. Scelta dei parametri di simulazione**

Impostazione dei file meteorologici (EPW), dei coefficienti di riflessione, dei fattori di trasmissione dei vetri e delle condizioni di occupazione secondo la normativa.

#### **4. Simulazione con software dedicati**

Utilizzo dei programmi ClimateStudio e Honeybee for Grasshopper per calcolare le metriche di riferimento previste dalla UNI EN 17037.

#### **5. Analisi dei risultati**

Interpretazione dei valori ottenuti, confronto tra edifici e tra contesti climatici, individuazione di pattern ricorrenti e anomalie significative.

#### **6. Sintesi e valutazione critica**

Discussione dei risultati rispetto agli obiettivi iniziali, con considerazioni sulle implicazioni normative e progettuali.

# 6.1

## CRITERI DI SELEZIONE DEI CASI STUDIO

L'analisi simulativa è stata condotta considerando tre differenti fasce latitudinali del territorio italiano (nord, centro e sud), al fine di ottenere risultati rappresentativi delle principali condizioni climatiche e del contesto urbano nazionale. A questo scopo sono state selezionate le città di **Milano, Roma e Palermo**, nelle quali sono state sviluppate tre simulazioni distinte. L'obiettivo delle simulazioni è quello di valutare le prestazioni di edifici esemplificativi rispetto ai requisiti previsti dalla UNI EN 17037, esaminandone il comportamento nelle diverse condizioni climatiche del Paese.

Sono state pertanto individuate tre tipologie edilizie ritenute significative e rappresentative di configurazioni diffuse nel tessuto edilizio italiano, utili ai fini della verifica dei criteri stabiliti dalla normativa europea. Poiché la norma considera edifici dotati sia di illuminazione laterale sia di illuminazione zenitale, le tipologie selezionate rispondono a entrambi i sistemi di captazione della luce naturale. Le tre categorie edilizie analizzate sono: l'**edificio industriale**, la **residenza** e l'**ufficio**.

### 6.1.1 – L'edificio industriale

Per la definizione del modello simulativo relativo a questa tipologia edilizia sono stati analizzati diversi esempi di capannoni industriali, reperiti da fonti eterogenee e rappresentativi delle configurazioni più diffuse nel contesto produttivo italiano.

La prima fase ha riguardato la scelta delle dimensioni dell'edificio, assunta come elemento determinante per la valutazione del comportamento della luce zenitale. Come riferimento iniziale sono state considerate le indicazioni fornite da *Eurolux* nell'ambito

del progetto *Zenital*, che propone tre configurazioni geometriche esemplificative di edifici industriali di piccola, media e grande scala. Le tre varianti presentano dimensioni (rispettivamente lunghezza, larghezza e altezza) pari a:

1. **35 x 14 x 6 m**
2. **40 x 25 x 9 m**
3. **50 x 32 x 12 m**

Le dimensioni in pianta e altezza risultano avere delle proporzioni abbastanza regolari, mantenendo una forma in pianta rettangolare e un'altezza che varia direttamente con l'aumento delle dimensioni della pianta.

Un secondo esempio preso in considerazione è l'allegato J della normativa europea *UNI 15193*, che presenta una metodologia di calcolo LENI della quantità di energia necessaria per l'illuminazione di un edificio industriale.

L'edificio in questione, escluso di area uffici, servizi ed ingresso, è di dimensioni **28 x 26 x 5 m**.

Questo esempio risulta essere di forma pressoché quadrata, ma presenta un rapporto in sezione molto simile ai precedenti.

Altra fonte consultata è il *Manuale dell'Architetto*, il quale fornisce delle indicazioni relative alla massima dimensione in larghezza in base all'altezza del fabbricato.

*"Dimensionamenti di massima per la larghezza del corpo di fabbrica:*

- per ambienti alti m 3 circa, larghezza 12 m + tra 1,75 m e 3 m per il passaggio, tra 13,75 m e 15 m totali;
- per ambienti alti m 4 circa, larghezza tra 15 m e 17,50 m;
- per ambienti alti m 5 circa, si avrà una larghezza tra 20 m e 22 m."<sup>60</sup>

Vengono inoltre riportati esempi di sezioni trasversali con relativi valori di illuminazione ottenuti sul piano di lavoro, in percentuale della luminosità esterna (pag. 299).

Per ultimo è stato consultato il sito di un fornitore italiano di carpenterie in acciaio *"INCOS Carpenteria"*, che presenta diverse combinazioni standard per questa tipologia edilizia.

<sup>60</sup> (Ridolfi, 1946)

Le dimensioni indicate sono:

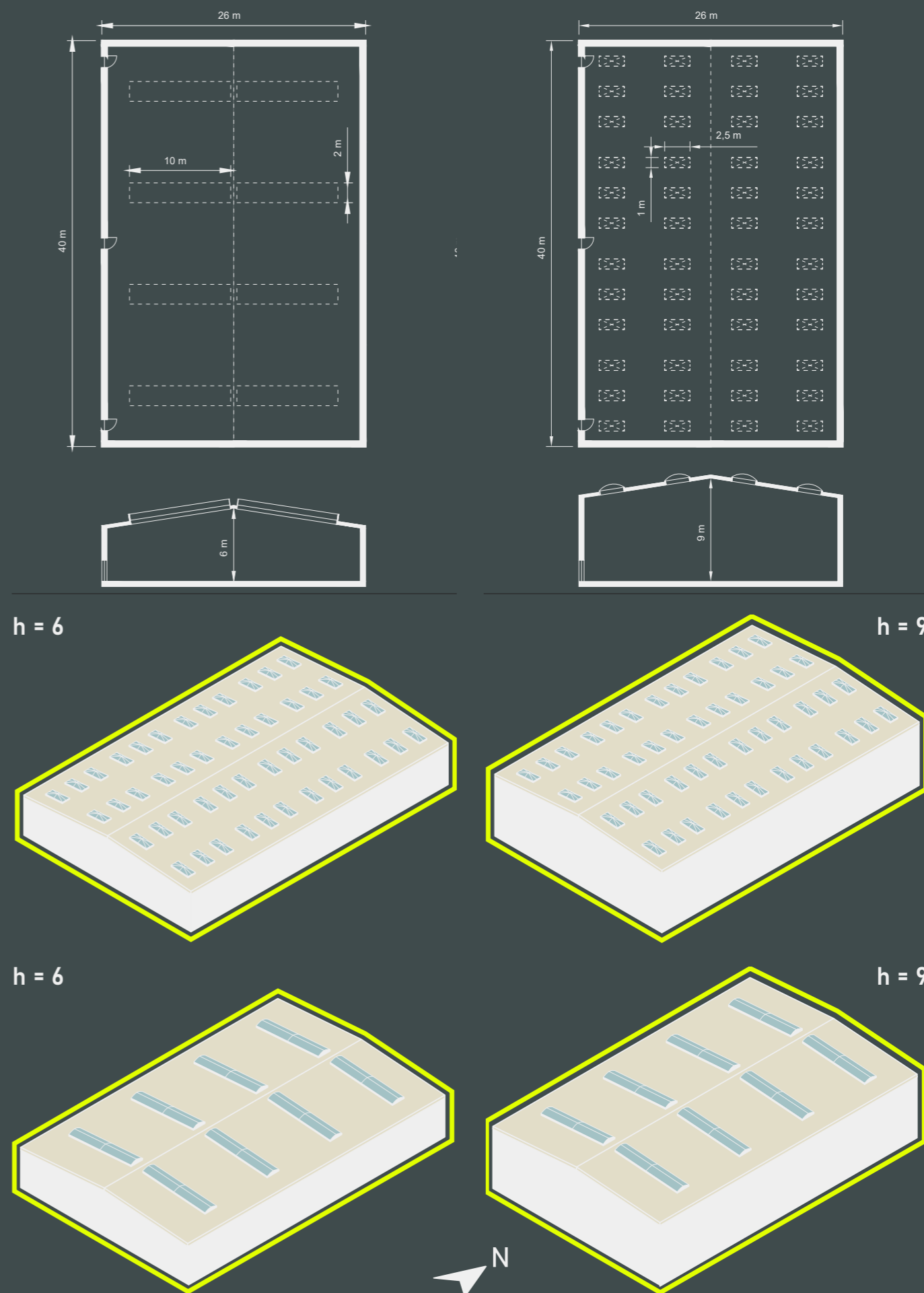
1. **36 x 48 x 6 m**
2. **36 x 48 x 8.5 m**
3. **18 x 48 x 6 m**
4. **18 x 48 x 8.5 m**
5. **21 x 48 x 6 m**
6. **21 x 48 x 8.5 m**

Questa fonte, oltre a confermare le proporzioni tra le dimensioni in pianta ed altezza, ci fa capire che questa tipologia edilizia può essere realizzata ripetendo elementi modulari, in questo caso si parla di campate di 48\*6 m o 48\*8.5 m. Analizzando ulteriormente i dati del fornitore, si conferma la ripetizione della campata un numero variabile di volte lungo una direzione, definendo l'edificio in lunghezza. In questo caso la spaziatura della baia risulta essere dai 6 m agli 8 m.

Questa fonte e le indicazioni del *Manuale dell'Architetto* guidano, dunque, la scelta della tipologia strutturale e morfologica dell'edificio, che viene indirizzata verso una **struttura in acciaio con sezione a capanna**. Lunghezza e larghezza dipendono quindi dalle caratteristiche e da questa modularità della struttura portante utilizzata per la realizzazione del capannone.

Per la definizione del modello di simulazione sono stati scelti i due **sistemi di illuminazione** più diffusi: il **sistema puntuale** e il **sistema continuo**. Il tipo di vetro è stato scelto diffondente, poiché funzionale per questa tipologia di sistema di illuminazione e molto diffuso nella tipologia edilizia considerata. Il numero ed il collocamento dei sistemi sono stati decisi seguendo le indicazioni di strumenti semplificati di produttori di sistemi zenitali. È stato effettuato un dimensionamento attuo ad ottenere il valore di 2% di  $FLD_m$ .

Il modello per la simulazione della tipologia edilizia industriale è dunque definito. In seguito a queste analisi è stato deciso di considerare 4 casi studio differenti, ma uguali in pianta, di dimensioni **40 x 26m**, che differiscono in altezza (**6 o 9 m**) e nella tipologia del sistema di illuminazione applicato (puntuale o continuo).



33. Piante, sezioni e viste assonometriche delle configurazioni scelte per la tipologia edilizia industriale  
- Elaborazione grafica personale

### 6.1.3 – L'edificio residenziale

La definizione di questo modello simulativo è stata protagonista di una riflessione alla base del processo decisionale. Poiché il patrimonio edilizio residenziale in Italia è talmente vasto e differisce enormemente anche per piccole distanze, la scelta non è stata quella di trovare un modello simulativo, ma di individuare tre edifici esistenti – uno per ogni città considerata – su cui svolgere le simulazioni. Questa scelta è stata fatta per poter rappresentare al meglio una realtà edilizia unica e varia come quella italiana.

Per prima cosa è stata fatta una scrematura sul periodo temporale nel quale questi edifici fossero stati costruiti, per avere sia omogeneità tra i casi studio che una rappresentazione migliore del contesto urbano italiano. Il periodo scelto infatti corrisponde agli anni di maggior costruzione edilizia del nostro paese: i due decenni degli anni '60 e '70.

Sono state poi studiate fonti bibliografiche che raccontassero l'espansione edile residenziale italiana in questo periodo storico. Tra quelle che hanno guidato l'individuazione dei tre casi studio ci sono: *Esplorazioni nella città dei ceti medi. Torino (1945-1980)* di Gaia Caramellino (Autore), Filippo De Pieri (Autore), Cristina Renzoni (Autore)<sup>61</sup>, *Case di abitazione* (Vol. 1 – 2) di Giampiero Aloï<sup>62-63</sup>, *Case e palazzine isolate*, di Carlo Perogalli<sup>64</sup> e *Case ed appartamenti in Italia*, di Carlo Perogalli<sup>65</sup>.

Dallo studio di queste fonti è emerso che le tipologie edilizie per un edificio residenziale sono molte, ma per rendere i dati più omogenei tra le simulazioni, sono stati presi in considerazione casi studio con caratteristiche simili. L'edilizia residenziale di quegli anni presenta una tipologia edilizia abbastanza diffusa, riconoscibile e replicabile, la *palazzina*, con caratteristiche favorevoli per considerarla una plausibile scelta.

Dalla pianta regolare e compatta, dotata di un sistema distributivo orizzontale centrale, con due o tre appartamenti per piano e uno o due corpi scala. Presenta molto spesso una facciata semplice e ripetitiva, con balconi lineari o aggettanti per ogni appartamento.

Per rendere i casi studio più verosimili e rappresentabili della città in cui sono inseriti, sono state anche prese in considerazione le indicazioni presenti nei database del progetto **URBEM (Urban Reference Buildings for Energy Modelling)**<sup>66</sup>. Questo è un progetto di ricerca nazionale, coordinato dal Politecnico di Milano, finalizzato alla definizione di un database di archetipi edilizi italiani per la modellazione energetica su scala urbana. Tali indicazioni sono state seguite per ricavare il **numero di piani** di cui l'edificio deve essere dotato il **fattore di trasmissione del vetro** ed il **WWR** di ogni stanza con finestra.

Come ulteriore criterio di selezione e verifica dei casi studio, è stato calcolato il **RAI** di ciascun ambiente oggetto di analisi, con l'obiettivo di ottenere valori prossimi a **1/8**. Poiché questo parametro è stato introdotto solo dopo la costruzione dei casi studio, non in tutti gli ambienti è stato possibile raggiungere il valore minimo previsto. Tuttavia, i casi in cui il requisito non è stato soddisfatto sono pochi e di entità tale da non compromettere la validità complessiva del caso studio per la simulazione.

Come ultimo criterio di selezione e verifica dei casi studio è stato il contesto in cui l'edificio è collocato. A tal fine sono stati considerati casi studio collocati in contesti di simile densità edificatoria e *"FAR"* confrontabile.

Secondo il manuale dell'architetto un contesto urbano è classificato in base alla densità edificatoria secondo l'**Indice di utilizzazione del suolo o Floor Area Ratio (FAR)**, calcolato come rapporto tra la somma di tutte le superfici lorde dei pavimenti degli edifici (di ogni piano) e la superficie totale del lotto.

In base al risultato del FAR i contesti urbani si dividono in:

- rurali o suburbani:  $0.1 < FAR < 1$
- compatti o a media densità:  $1 < FAR < 3$
- densi:  $3 < FAR < 7$

Il FAR per questi contesti urbani è stato stimato di un valore pari circa a 2 mq/mq; dunque, si può considerare come di **media densità edificatoria**.

<sup>61</sup> (Caramellino et al., 2015)

<sup>62</sup> (Giampiero Aloï, 1971)

<sup>63</sup> (Giampiero Aloï, 1972)

<sup>64</sup> (Perogalli, 1963)

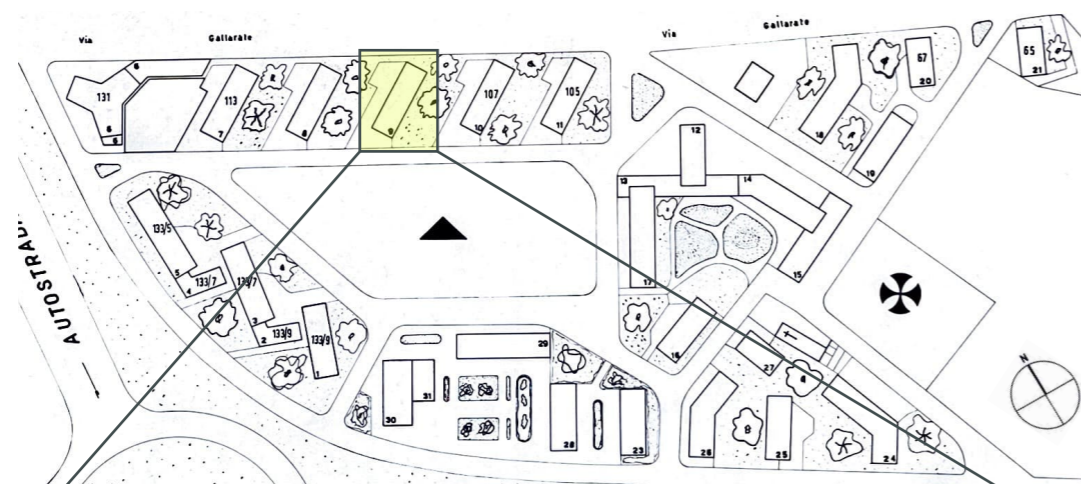
<sup>65</sup> (Perogalli, 1959)

<sup>66</sup> <https://www.urbem.polimi.it/>

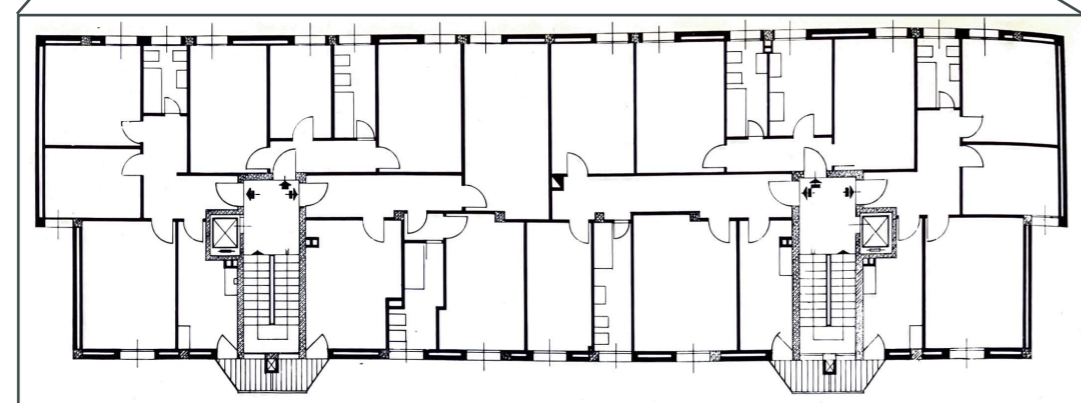
I casi studio individuati sono quindi tre:

**1. Milano, palazzina residenziale in Via Gallarate 109**, appartenente ad un complesso più ampio situato in zona periferica (Garegnano) costruito nel 1967.

La palazzina è situata in una zona residenziale della città, circondata da edifici di altezza simile. L'edificio in esame è affiancato da elementi del contesto che non sono ad una distanza tale da portare un'ombra diretta significativa all'edificio analizzato, se non nelle ore di tardo pomeriggio o mattina presto.



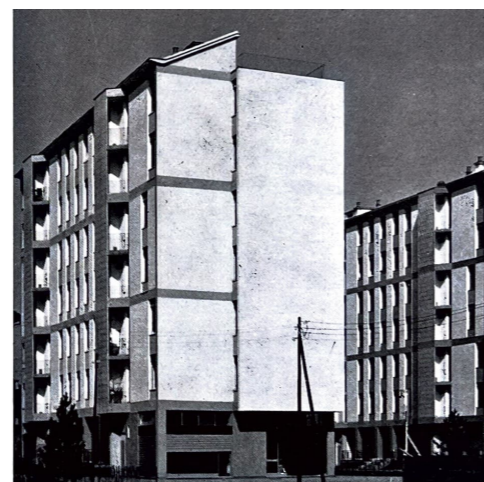
34. Masterplan di progetto del contesto



35. Pianta del piano tipo



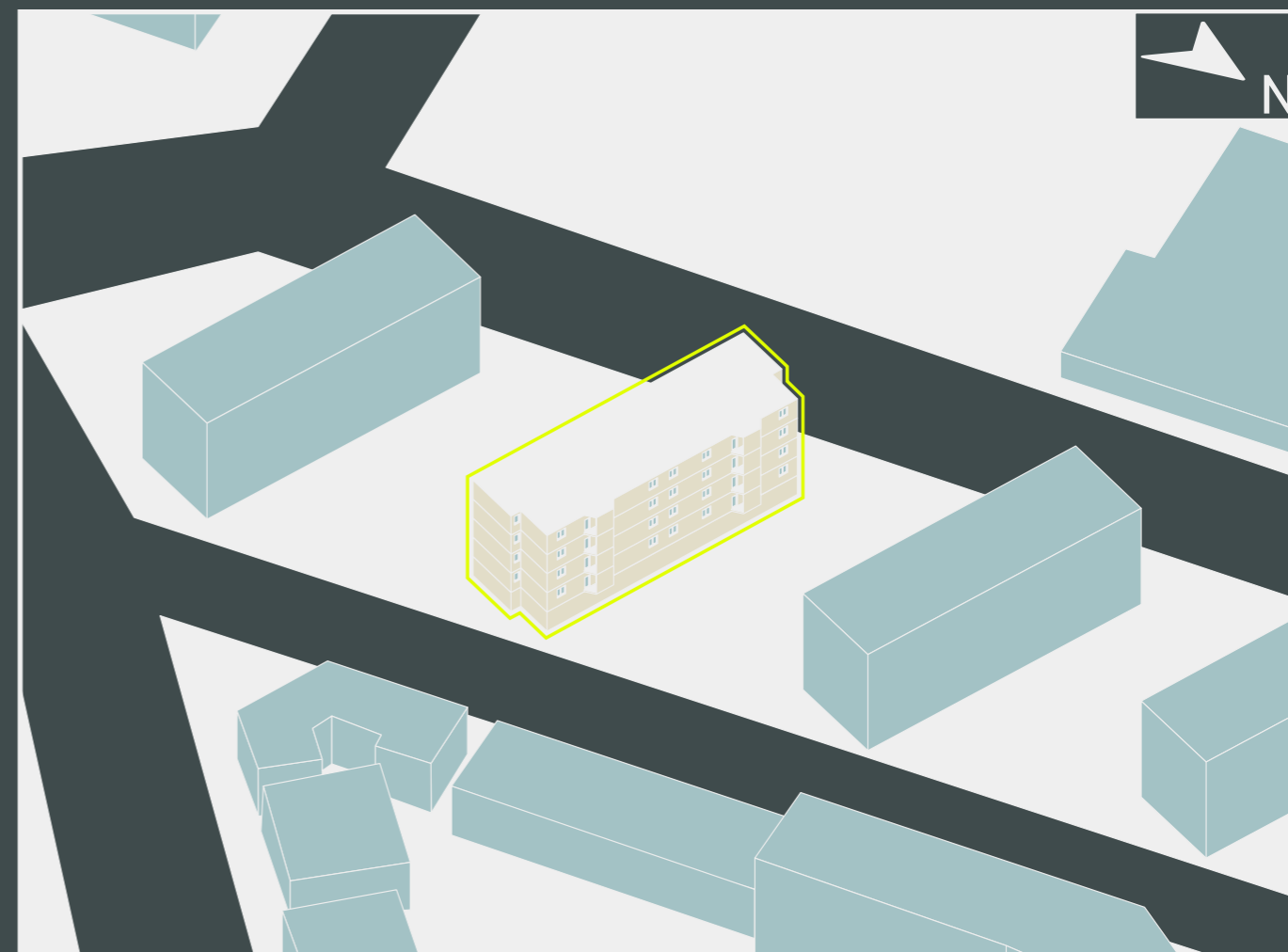
36. Vista del prospetto nord-est



37. Vista del prospetto nord-ovest

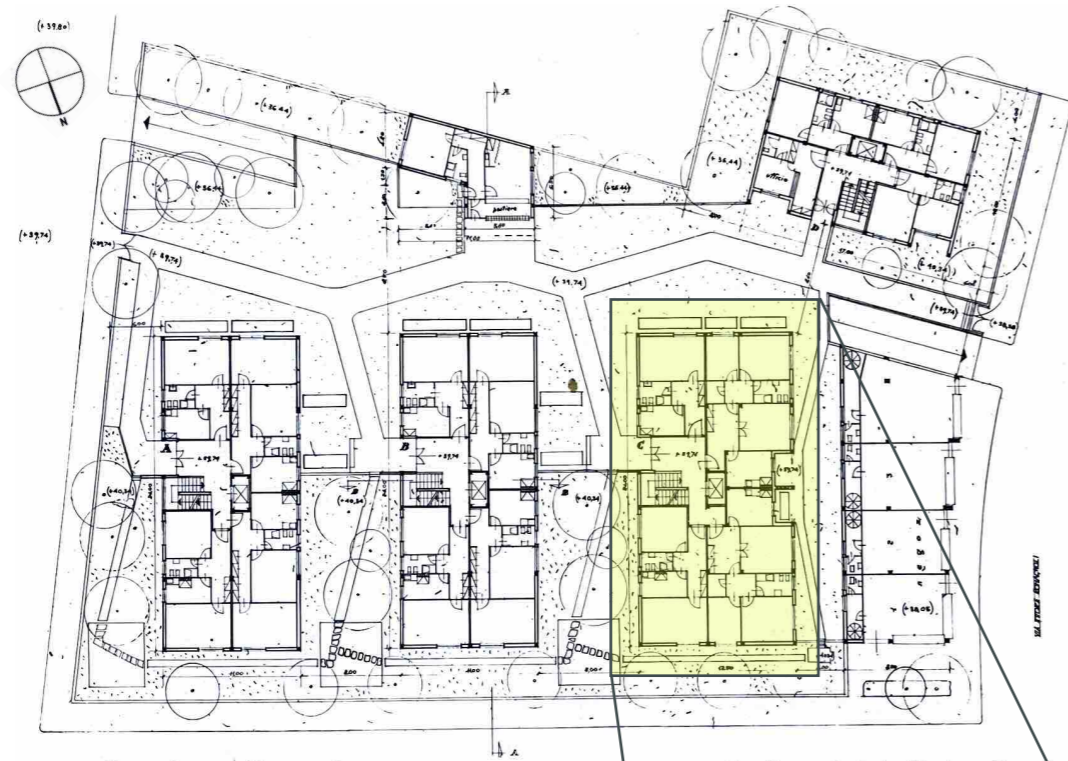


38. Vista aerea dell'area di progetto e del contesto



**2. Roma, complesso residenziale in Via Fogazzaro 107**, situato in zona periferica (Tufello), composto da 4 palazzine di 4 piani costruite negli anni 1971 - 73.

Il complesso è situato in una zona residenziale della città, circondato da edifici di altezza molto simile; sul sud ed est l'edificio in esame è affiancato da fabbricati di altezze confrontabili, ma a distanze molto ravvicinate, che possono essere elemento di ostacolo per l'ingresso della luce naturale. A nord ed ovest i fabbricati sono ad una distanza più elevata.



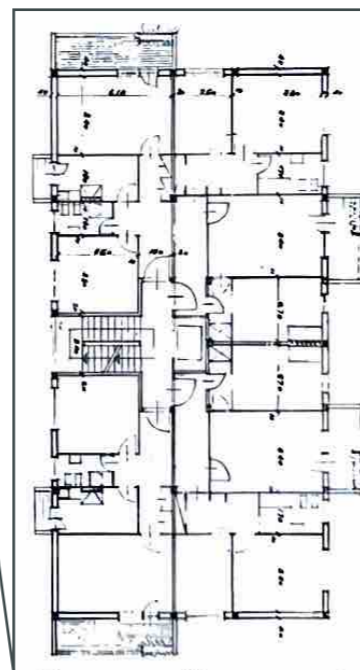
39. Masterplan di progetto



40. Vista del prospetto nord



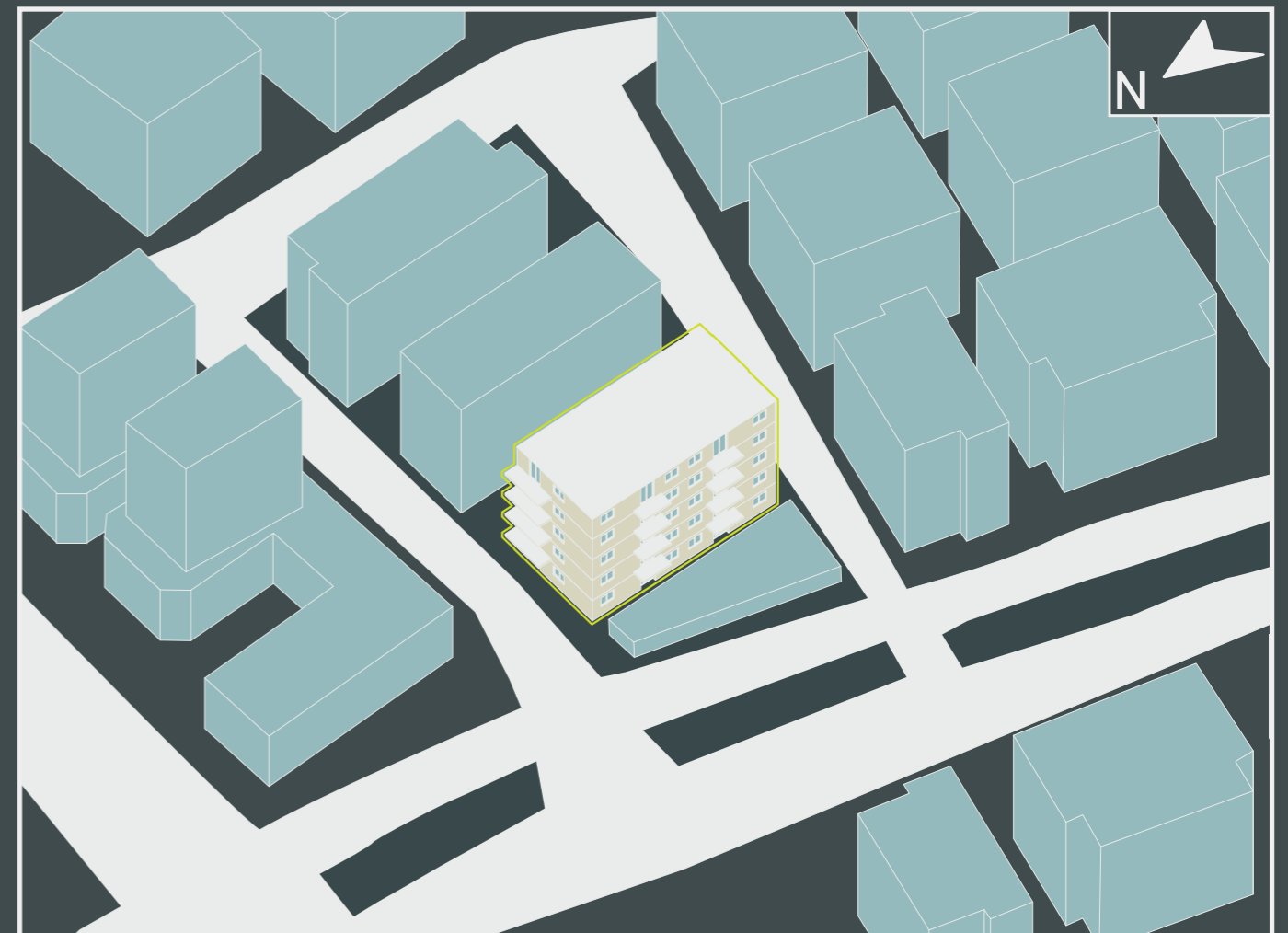
41. Vista del prospetto sud



42. Pianta del piano tipo

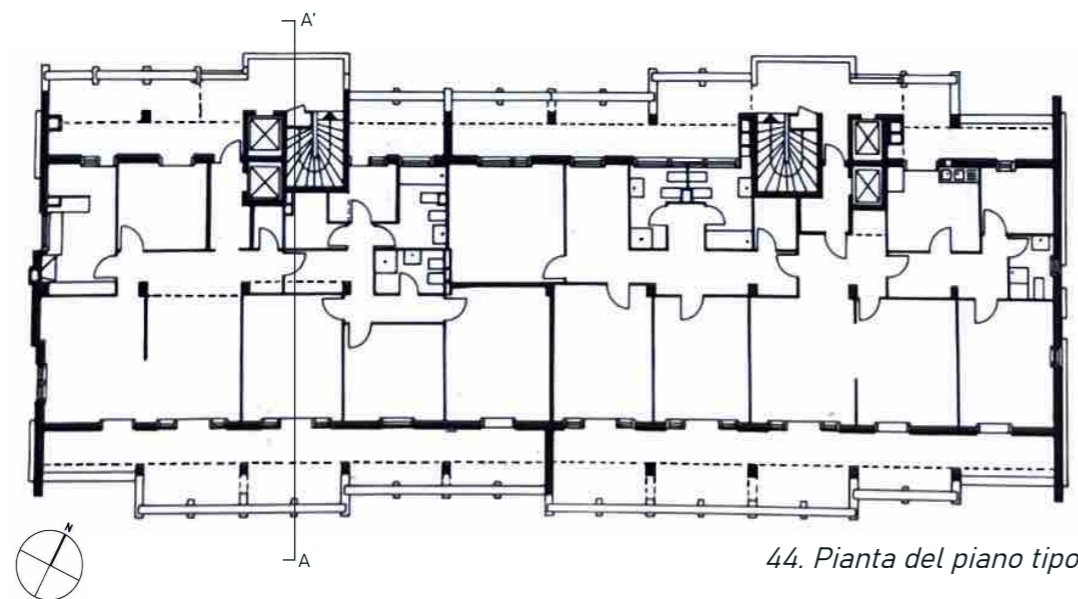


43. Vista aerea dell'area di progetto e del contesto



**3. Palermo, palazzina residenziale in Via Leonardo da Vinci 26,** situato in una zona periferica della città (Principe di Palagonia), composto da un grande edificio da 13 piani costruita negli anni 1966-1967.

La palazzina è situata in una zona residenziale della città, circondata da edifici di altezza variabile; sul lato nord e ovest l'edificio è affiancato da fabbricati di altezze confrontabili con il caso studio, mentre a sud ed est le altezze dei fabbricati sono solo di qualche piano. La distanza tra gli edifici circostanti e l'edificio in esame è tale da non avere alcun elemento del contesto che porti un'ombra diretta significativa all'edificio analizzato, se non nelle ore di tardo pomeriggio o mattina presto.



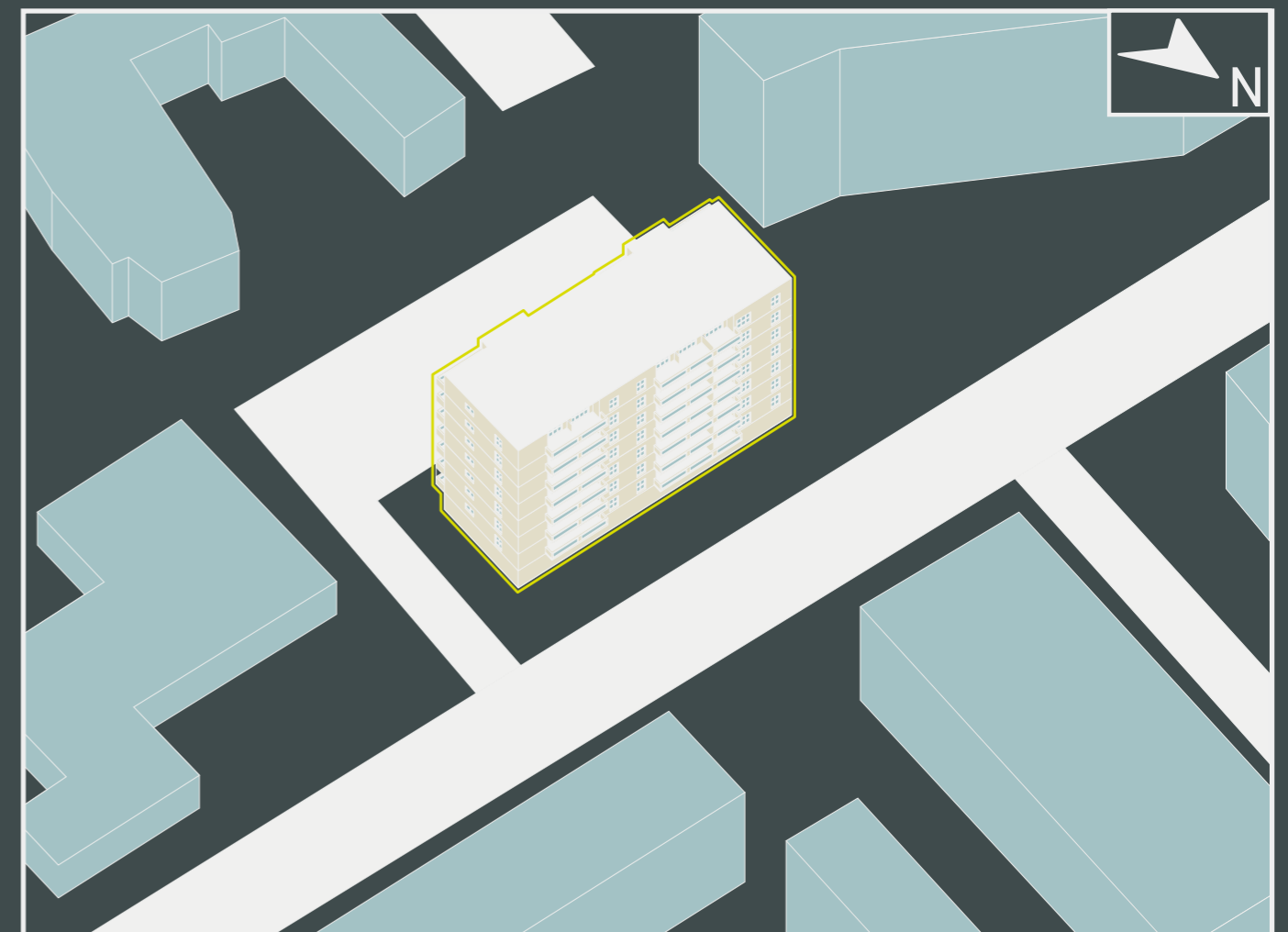
44. Pianta del piano tipo



45. Prospetto nord e sezione A-A'



46 Vista aerea dell'area di progetto e del contesto



### 6.1.2 – L'edificio per uffici

La selezione del modello simulativo della tipologia edilizia per uffici proviene dal dal rapporto RSE/2009/161 <sup>67</sup> di *ENEA (Ente per le Nuove tecnologie l'Energia e l'Ambiente)* combinato con un caso studio tratto da ricerche pubblicate nella rivista *Energy and Building*.<sup>68</sup>

Il modello rappresenta un edificio di forma rettangolare composto da 5 piani e 14 uffici per piano. È stato realizzato in modo da avere gli uffici collocati nella parte perimetrale dell'edificio, con sale riunioni e servizi nella parte interna.

La disposizione è stata scelta considerando che gli uffici sono luoghi in cui gli utenti passano diverso tempo, per questo motivo sono stati collocati nella zona in cui si ha un migliore accesso alla luce naturale. I servizi e le sale riunioni sono invece stati collocati nella parte centrale della pianta e non hanno accesso alla luce naturale.

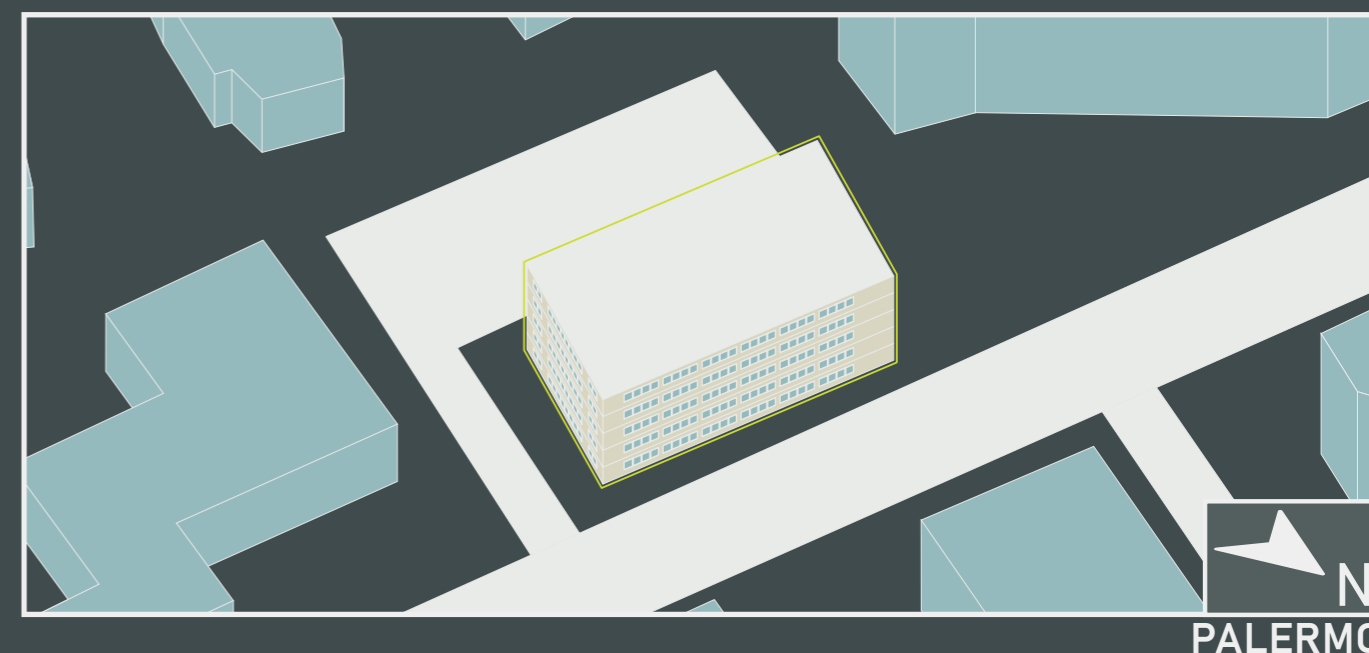
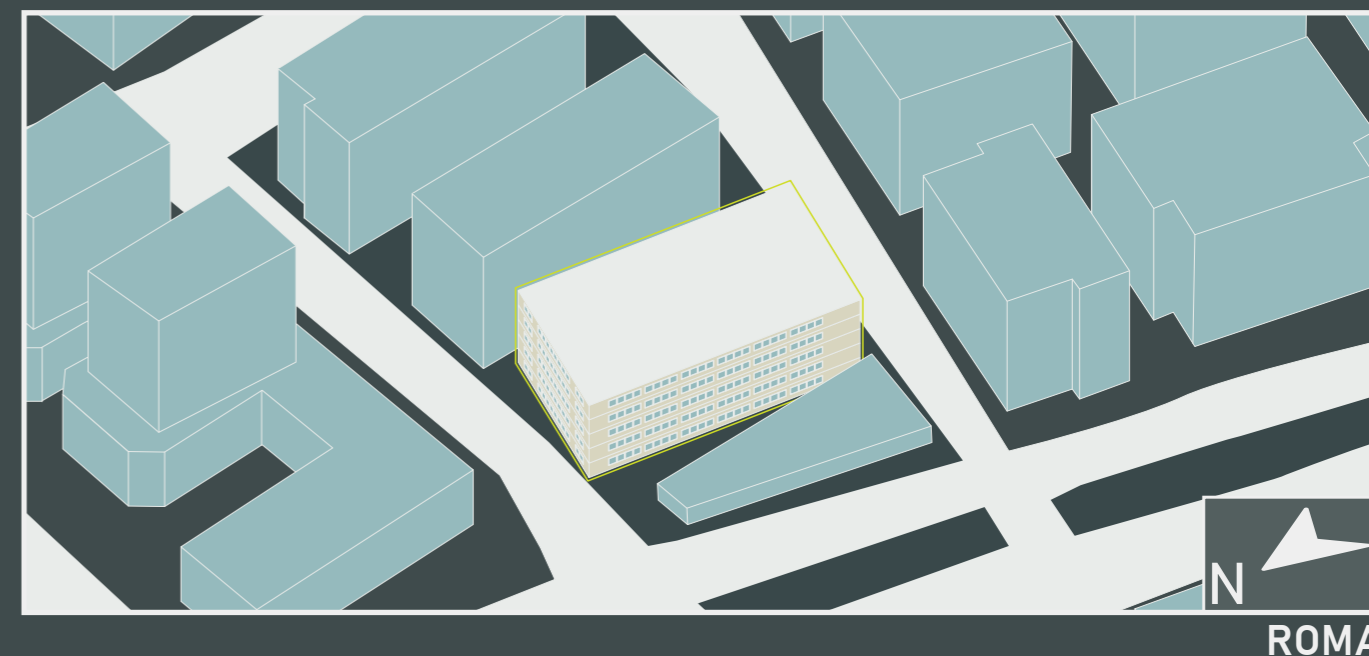
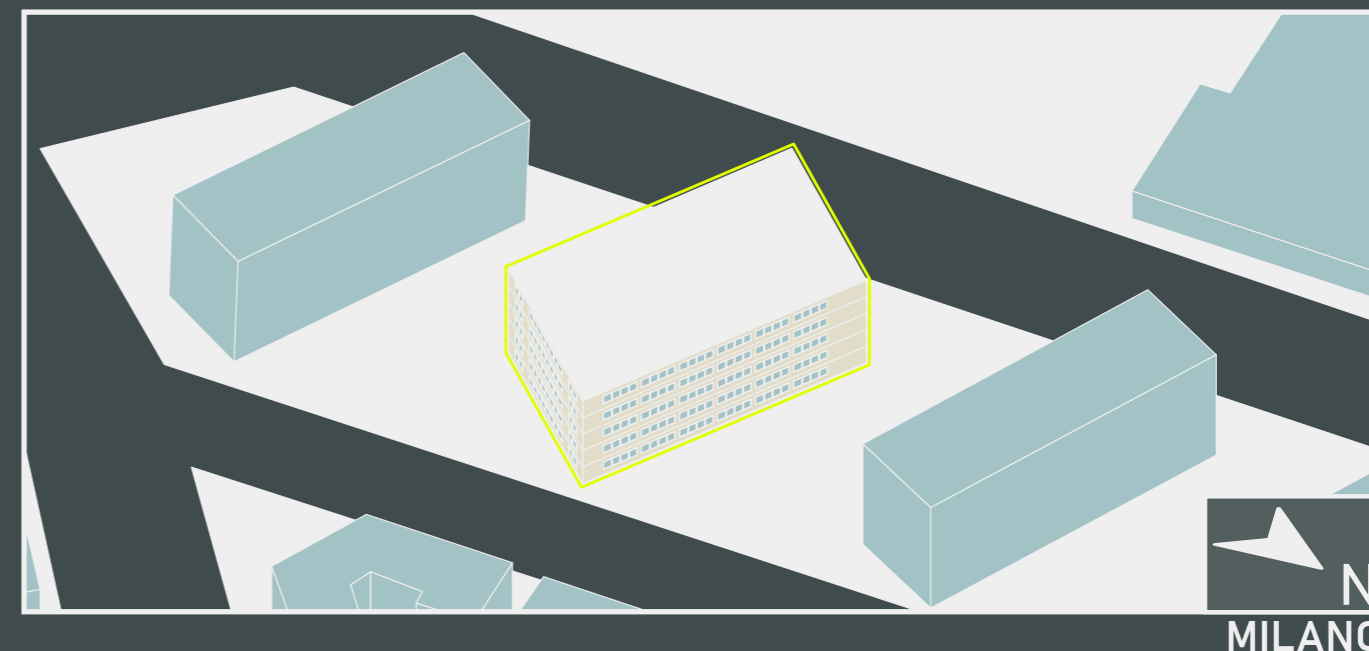
Ogni ufficio è illuminato da finestre a nastro che percorrono all'incirca l'intera lunghezza delle stanze. Gli ambienti hanno una dimensione regolare di circa 4x4m e pensati per essere occupati da una o due persone. Non sono presenti ambienti comuni di lavoro open space.

Il modello è stato collocato nei contesti delle 3 città considerate (Milano, Roma, Palermo) per avere dei risultati confrontabili e limitare le variabili da considerare ai fini di una semplificazione della valutazione complessiva dei risultati.



<sup>67</sup> (Citterio, M., 2009)

<sup>68</sup> (Di Turi, et al., 2023)



## 6.2

### DEFINIZIONE DEI MODELLI E DEI PARAMETRI SIMULATIVI

Definiti gli edifici delle tipologie edilizie, è possibile definire i modelli ed i parametri di simulazione.

Per prima cosa sono stati realizzati i **modelli simulativi** sul software di modellazione, compresi di quanti più dettagli possibili e dei differenti **contesti** in cui sono inseriti.

In seguito, sono stati definiti i **fattori di riflessione della luce visibile** delle superfici opache interne ed esterne, nonché il tipo di vetro impiegato nelle finestre, da cui deriva il relativo **fattore di trasmissione della luce visibile**. Nel modello simulativo dell'edificio industriale è stato adottato un vetro diffondente con fattore di trasmissione pari a 0,3, mentre per gli edifici residenziali e per uffici è stato scelto un vetro trasparente con valore di di trasmissione pari a 0,7. Questa differenza comporta, nel caso dell'edificio industriale, una riduzione del livello di illuminamento da luce naturale dovuta alla minore trasmissione del vetro e, al contempo, una distribuzione di luce più omogenea dovuta alla sua proprietà diffondente.

Al contrario, negli edifici residenziali e uffici, il maggiore coefficiente di trasmissione permette alla luce naturale di contribuire in modo più significativo al livello di illuminamento degli ambienti interni, ma avrà una distribuzione meno omogenea nell'ambiente.

È stata effettuata la definizione dei **profili temporali**, mantenendo un arco temporale annuale per poter considerare tutti i percorsi solari disponibili.

La presenza dell'**elemento oscurante** è stata considerata, visti i

sistemi di illuminazione, nella tipologia residenziale e nell'ufficio. In un ufficio il sistema oscurante è un elemento particolarmente fondamentale, poiché rimanendo l'utente nella stessa posizione per diverse ore al giorno, influisce molto nel confort interno e nel controllo dell'abbagliamento.

Anche in una tipologia residenziale l'utilizzo della tenda è fondamentale, ma va considerato che in questo luogo l'utente non è obbligato a stare nella stessa postazione, ma può cambiare stanza in caso di discomfort. Inoltre, le tende in questa tipologia edilizia sono usate anche e soprattutto per una questione di privacy.<sup>69</sup>

Le simulazioni sono state fatte sia con che senza l'utilizzo della tenda.

Sono stati definiti i **parametri meteorologici** di riferimento, utilizzando i file climatici EPW corrispondenti alle tre città selezionate e modificando i profili di occupazione in accordo con le indicazioni riportate nella norma UNI EN 17037. Considerata la differente latitudine delle località analizzate, è prevedibile che i risultati delle simulazioni mostrino variazioni sia nella quantità di luce naturale disponibile all'interno degli ambienti, sia nella distribuzione temporale dell'irraggiamento solare durante l'anno.

Sono state poi definite le **metriche** su cui effettuare la verifica e le relative **griglie di calcolo**. Si è scelto di verificare la **Daylight Provision (DP)**, la **Sunlight Exposure (SE)**, la **View Out Analysis** e la **Glare Protection (GP)** secondo i metodi di calcolo della normativa.

Per il calcolo della DP e della SE è stata posizionata la griglia ad una altezza dal pavimento che simulasse la posizione di un piano di lavoro, mentre per la VIEW e la GP si è considerata un'altezza a livello dell'occhio di una persona seduta.

<sup>69</sup> (Ye et al., 2016)

## 6.3

### SIMULAZIONE DI LUCE NATURALE: VALUTAZIONE E SELEZIONE DEL SOFTWARE

L'evoluzione delle metriche CBDM e la crescente esigenza di valutazioni realistiche sul comportamento dinamico della luce naturale hanno portato allo sviluppo di diversi strumenti di simulazione, che si distinguono per approccio, precisione e integrazione con il flusso di lavoro progettuale. Tali strumenti si basano generalmente sul motore di calcolo *Radiance*, oggi riconosciuto come standard di riferimento internazionale per la simulazione fisicamente accurata della luce naturale. Attorno ad esso si sono sviluppate interfacce e piattaforme differenti, ciascuna con finalità e gradi di complessità diversi.

Tra i software più diffusi nel campo della progettazione illuminotecnica si possono distinguere tre principali categorie:

- Strumenti di analisi semplificata, come *Velux Daylight Visualizer* o *Dialux Evo*, pensati per un utilizzo rapido e intuitivo, spesso limitato a valutazioni preliminari basate su scenari standard o condizioni di cielo CIE. Questi strumenti consentono di stimare parametri come il Daylight Factor o l'illuminamento medio, ma non permettono un'analisi dinamica basata su dati climatici reali.
- Software di simulazione avanzata basati su *Radiance* o *Daysim*, come *Honeybee + Ladybug*, *ClimateStudio*, *DIVA for Rhino* o *ReluxPro*. Questi strumenti sono in grado di eseguire simulazioni CBDM a partire da file climatici EPW, restituendo indicatori legati allo standard **IES LM83** come sDA, ASE, UDI e DGP. Si tratta di strumenti utilizzati sia in ambito accademico che professionale, spesso integrabili con i software di modellazione architettonica più diffusi (Rhino, SketchUp, Revit).
- Piattaforme di simulazione energetico-ambientale integrata,

come *EnergyPlus*, *IES-VE* o *DesignBuilder*, che consentono di valutare in modo congiunto prestazioni termiche, illuminotecniche e di comfort. Sebbene estremamente potenti, tali piattaforme presentano una maggiore complessità di configurazione e un approccio più orientato all'ingegneria dell'edificio che alla progettazione architettonica.<sup>70</sup>

La scelta fatta di utilizzare *ClimateStudio* e *Honeybee* deriva dalla volontà di adottare strumenti che combinino accuratezza fisica, flessibilità di modellazione e aderenza agli standard CBDM, in linea con l'impostazione metodologica illustrata nel capitolo 3. In particolare, la scelta dell'utilizzo di *ClimateStudio* e *Honeybee* risponde a un duplice obiettivo metodologico:

- **Affidabilità e riconoscibilità scientifica**, poiché entrambi i software si fondano su metodi validati e adottano gli stessi motori fisici (*Radiance*), garantendo risultati conformi ai criteri IES e ai protocolli internazionali di sostenibilità.
- **Flessibilità analitica e confronto tipologico**, in quanto *Honeybee* consente la costruzione di workflow dinamici e modulari, ideali per confronti tra archetipi edilizi e per la calibrazione dei parametri simulativi, mentre *ClimateStudio* fornisce interfacce più snelle per l'analisi comparativa dei risultati secondo le metriche CBDM.

#### 6.3.1 – Confronto tra i software di calcolo simulativo: *ClimateStudio* e *Honeybee* (a *Ladybug tool for Grasshopper*)

Per le simulazioni di luce di questo lavoro di tesi, sono stati utilizzati due software molto validi nel settore. Il primo è *ClimateStudio* ed è appartenente all'azienda *Solemma*, nel cui sito è possibile trovarne una breve descrizione.

*"ClimateStudio è il software di analisi delle prestazioni ambientali più veloce e accurato per il settore dell'architettura, dell'ingegneria e dell'edilizia (AEC). Il suo workflow di simulazione aiuta progettisti e consulenti a ottimizzare gli edifici in termini di efficienza energetica, accesso alla luce naturale, prestazioni dell'illuminazione elettrica, comfort visivo e termico e altri parametri relativi alla salute degli occupanti. ClimateStudio è un*

<sup>70</sup> (Su et al., 2021)

plugin per *Rhinoceros 3D* e richiede l'ultima versione di servizio della versione 6, 7 o 8.”<sup>71</sup>

Il secondo è *Grasshopper* ed in particolare il suo plug-in *Honeybee*, che consente di realizzare simulazioni ambientali integrate all'interno del processo di progettazione parametrica. Questo software permette di svolgere analisi relative alla luce naturale e al comfort visivo, supportando la valutazione delle prestazioni luminose degli spazi in diverse condizioni, e al tempo stesso consente di elaborare modelli energetici utili a stimare consumi, verificare strategie passive e valutare l'efficienza e il dimensionamento dei sistemi.<sup>72</sup>

*ClimateStudio* e *Honeybee* utilizzano due motori di simulazione principali:

- *Radiance* per tutte le simulazioni di illuminazione naturale e artificiale, daylighting, abbagliamento e analisi visive.
- *EnergyPlus* per le simulazioni di prestazioni energetiche e comfort termico.

Parlando di ***ClimateStudio***, questo software è pensato ad uso commerciale e presenta dunque i vantaggi e gli svantaggi che ne derivano.

Possiede un'interfaccia molto intuitiva e semplice da gestire, potendone controllare le funzioni direttamente da *Rhinoceros* si presenta come un software user friendly.

Il workflow è lineare: una volta pronto il modello, si selezionano i materiali secondo i layer presenti, si definiscono le impostazioni di griglia, i parametri meteorologici, i profili di occupazione e si può lanciare la simulazione.

Punto a favore è la possibilità di poter gestire facilmente la presenza e le modalità di attivazione/disattivazione delle tende oscuranti, ma va tenuto conto che non sono modalità indicate nella normativa UNI 17037.

Si possono scegliere tra molte opzioni di simulazione, tra cui alcune utili per i protocolli *LEED*, *BREEAM* e normativa *UNI EN 17037*.

I tempi di simulazione sono molto brevi e restituiscono output

grafici e spaziali utili per la comprensione dei risultati.

I risultati ottenuti sono realistici, il software è validato a livello internazionale e riconosciuto per la sua affidabilità ed efficacia.

***Honeybee*** invece non fa le simulazioni direttamente, ma costruisce un'interfaccia tra *Grasshopper* e motori di calcolo esterni come *Radiance* e *EnergyPlus*.

Questo software prevede una conoscenza basilare di *Grasshopper* e si presenta meno user friendly rispetto al precedente. Il suo utilizzo prevede infatti le conoscenze di tutti i parametri gestiti dai motori di calcolo, per poterli inserire nel foglio computazionale e quindi gestire.

Un punto di forza di questo tool è la possibilità di integrare le simulazioni in un processo parametrico che parte dalla definizione della geometria fino ai risultati finali. In questo modo ogni componente del processo è scandita secondo dei parametri matematici che rendono diretto il collegamento tra la sua modifica ed il risultato finale, senza dover ricominciare la simulazione.

Il tool ha però dei tempi di calcolo più elevati rispetto a *ClimateStudio* ed inoltre non ha ancora – poiché costantemente in aggiornamento – integrato la possibilità di assegnare un profilo di utilizzo ai dispositivi oscuranti, rendendo dunque non possibile considerarli nella simulazione.

Nonostante la presenza di questi impedimenti, il tool restituisce dei risultati validi ed è considerato il più completo e preciso riguardo alla personalizzazione e customizzazione dei parametri di calcolo.

Per questo lavoro di tesi sono stati compiute diverse simulazioni con entrambi i software, ma, avendo riscontrato l'impossibilità di utilizzo dei sistemi oscuranti nelle simulazioni fatte con *Honeybee*, i calcoli ed i risultati ottenuti sono stati ricavati esclusivamente dal software *ClimateStudio*.

<sup>71</sup> <https://www.solemma.com/climatestudio>

<sup>72</sup> <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>

Sono state svolte dunque le simulazioni di luce naturale, partendo dalla tipologia edilizia dell'edificio industriale nelle tre città considerate, per poi passare a quello residenziale ed infine l'ufficio, anch'essi considerando le città di Milano, Roma e Palermo.

Le simulazioni sono state svolte per i requisiti della normativa UNI EN 1703: *Daylight Provision (DP)*, *Sunlight Exposure (SE)*, *View Out Analysis* e *Glare Protection (GP)*.

Per quanto riguarda le simulazioni svolte nelle tipologie edilizie residenziale ed ufficio, poichè composte da numerose stanze, i risultati ottenuti sono stati elaborati in modo tale da avere una percentuale di ambienti in cui i requisiti della normativa raggiungono i livelli indicati *minimum*, *medium* e *high*. Sono dunque presenti nei risultati riportati il numero di stanze che raggiungono il determinato livello sul numero totale di stanze, seguito dalla percentuale di ottenimento del livello considerato. Nel caso dell'edificio industriale invece, avendo un solo ambiente, i risultati ottenuti non hanno richiesto un'elaborazione successiva, ma si è potuto valutare il rispetto dei requisiti semplicemente controllando i valori ottenuti dalle simulazioni.

Il capitolo contiene i risultati relativi alle simulazioni svolte con *ClimateStudio* ed una loro successiva elaborazione per la verifica dei requisiti della normativa UNI EN 17037. Per quanto riguarda il criterio della *Daylight Provision*, sono state effettuate le simulazioni di *Spatial Daylight Autonomy (sDA)* presenti sul software di calcolo adattando gli illuminamenti

Level of recommendation for vertical and inclined daylight opening	Target illuminance $E_T$ lx	Fraction of space for target level $F_{plane,\%}$	Minimum target illuminance $E_{TM}$ lx	Fraction of space for minimum target level $F_{plane,\%}$	Fraction of daylight hours $F_{time,\%}$
Minimum	300	50 %	100	95 %	50 %
Medium	500	50 %	300	95 %	50 %
High	750	50 %	500	95 %	50 %
NOTE Table A.3 gives target daylight factor ( $D_T$ ) and minimum target daylight factor ( $D_{TM}$ ) corresponding to target illuminance level and minimum target illuminance, respectively, for the CEN capital cities.					

Livelli raccomandati di Daylight Provision secondo la UNI EN 17037

	Parameter <sup>a</sup>		
Level of recommendation for view out	Horizontal sight angle	Outside distance of the view	Number of layers to be seen from at least 75 % of utilized area: - sky - landscape (urban and/or nature) - ground
Minimum	$\geq 14^\circ$	$\geq 6,0$ m	At least landscape layer is included
Medium	$\geq 28^\circ$	$\geq 20,0$ m	Landscape layer and one additional layer is included in the same view opening
High	$\geq 54^\circ$	$\geq 50,0$ m	all layers are included in the same view opening

Livelli raccomandati di View Out secondo la UNI EN 17037

Level of recommendation for exposure to sunlight	Sunlight exposure
Minimum	1,5 h
Medium	3,0 h
High	4,0 h

Livelli raccomandati di Sulight Exposure secondo la UNI EN 17037

Level of recommendation for glare protection	$DGP_e < 5 \%$
Minimum	0,45
Medium	0,40
High	0,35

Livelli raccomandati di  $DGP_{<5\%}$  per la Glare Protection secondo la UNI EN 17037

Imperceptible glare	Perceptible glare	Disturbing glare	Intolerable glare
$DGP \leq 34\%$	$34\% < DGP \leq 38\%$	$38\% < DGP \leq 45\%$	$45\% < DGP$

47. Livelli di  $DGP_{<5\%}$  utilizzati da ClimateStudio per svolgere le simulazioni

target e le percentuale di spazio come indicato nella normativa. Il criterio di *View Out* è stato calcolato direttamente dal software e non sono state necessarie successive elaborazioni.

Il criterio di *Sunlight Exposure* è stato calcolato con il metodo analitico esposto dalla normativa, mentre tramite ClimateStudio è stata calcolata la metrica *Annual Sunlight Exposure (ASE)*. I risultati anche se simili, non sono da comparare, poichè il primo verifica se in un finestra arriva sufficiente luce naturale, mentre il secondo vuole assicurare che una determinata percentuale di ambiente non sia esposta per troppo tempo a determinati livelli di luce solare diretta.

La verifica di abbagliamento tramite il criterio di *Glare Protection* è stata effettuata secondo i metodi indicati dalla normativa. Bisogna però sottolineare che il software di calcolo restituisce i risultati della *Annual Daylight Glare*, ossia una distribuzione spaziale della *Daylight Glare Probability (DGP)*, la metrica che la normativa chiede di verificare nelle due viste a 90° e a 45° rispetto alla finestra. Tale requisito è stato dunque verificato estrapolando i risultati di *DGP* dalla metrica calcolata dal software di calcolo.

è necessaria una successiva precisazione relativa ai valori di *DGP* corrispondenti ai livelli della normativa e di *ClimateStudio*. Essi differiscono leggermente, ma per necessità di calcolo questa piccola differenza è stata trascurata.

## 6.4.1

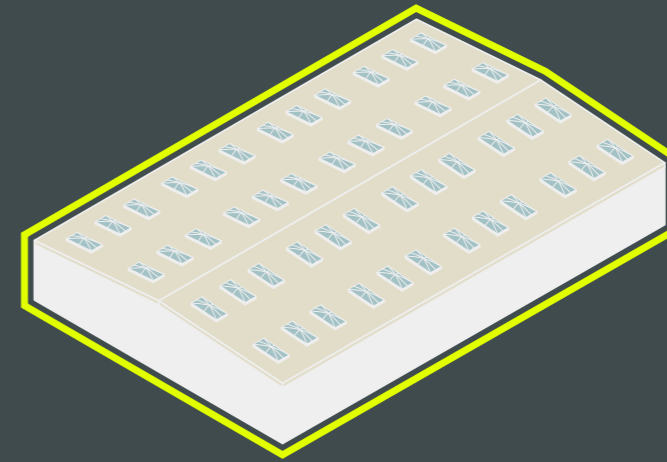
### EDIFICIO INDUSTRIALE - MILANO, ROMA, PALERMO

Per quanto riguarda l'edificio industriale, i risultati ottenuti risultano essere ottimali per le prestazioni dell'edificio, ma guidati dalla scelta della tipologia edilizia e del tipo di vetro. I requisiti legati alle metriche DP ottengono classificazioni elevate grazie alla buona distribuzione della luce naturale dei sistemi di illuminazione zenitale. I requisiti legati a SE risultano invece nulli poiché il vetro diffondente annulla quasi completamente la componente diretta della luce solare; il punteggio per questo requisito è quindi un fail. Per la stessa motivazione il DGP risulta nullo in tutti gli scenari, ottenendo quindi il punteggio massimo.

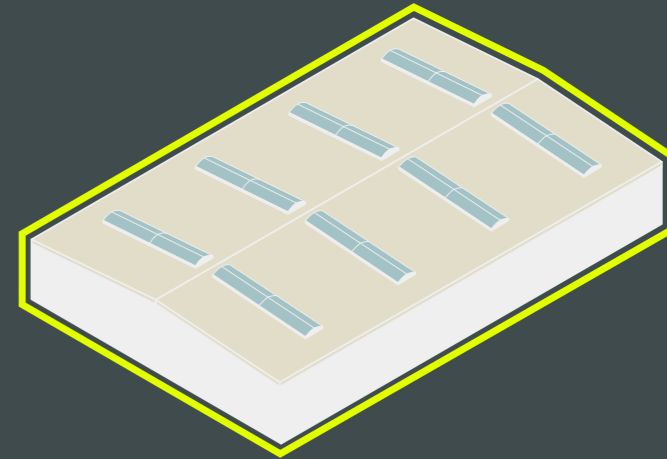
I risultati di DP ottengono una classificazione high in 10 scenari su 12, non raggiungendo il terzo livello soltanto in due casi della città di Milano. Tali risultati sono quindi da considerare ottimi, poiché è ampiamente superato ovunque il livello minimo consigliato.

Per questa tipologia edilizia, vista la posizione delle finestre, il requisito di *View Out Analysis* non è stato simulato. Questo poiché la normativa non prende in considerazione una possibile "*View Zenitale*" ed, essendo stato usato un vetro diffondente, il parametro non sarebbe significativo.

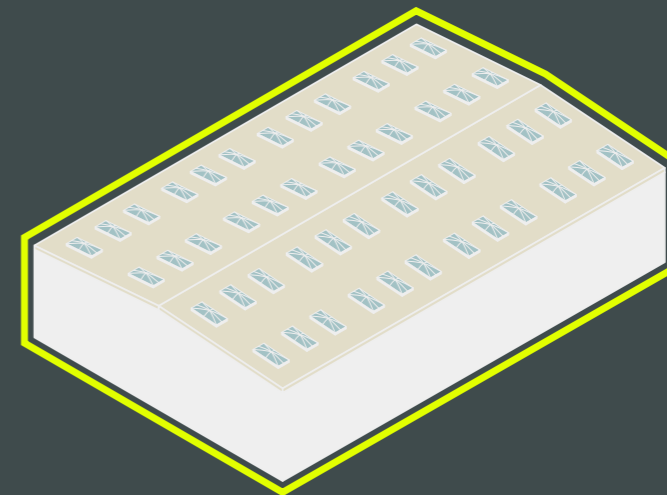
h = 6



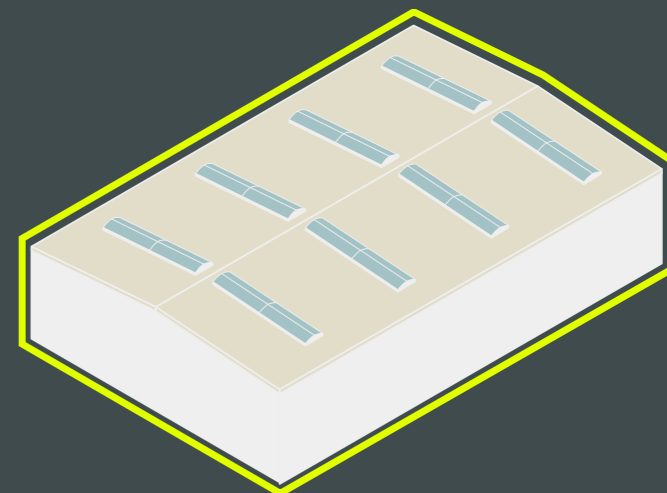
h = 6



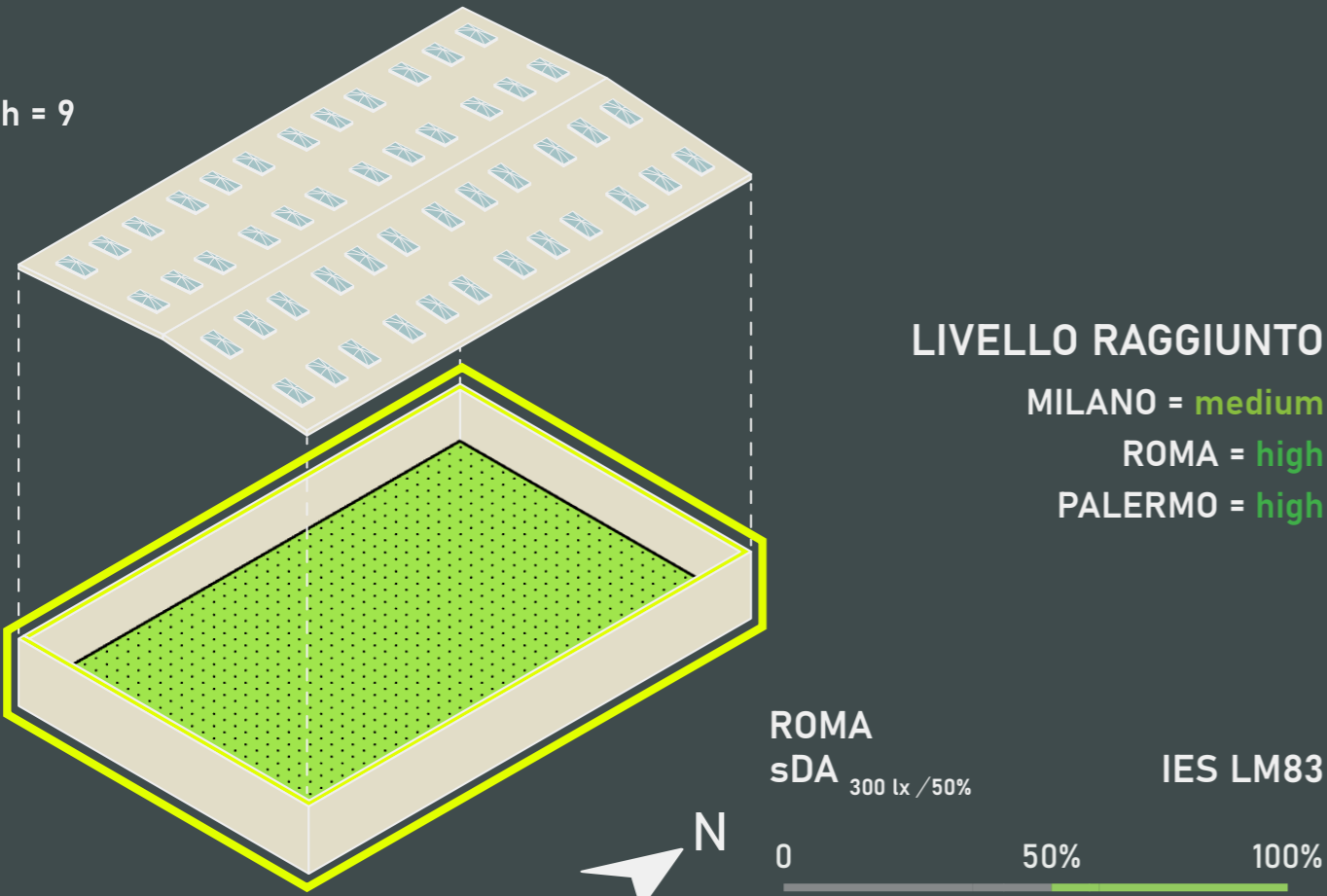
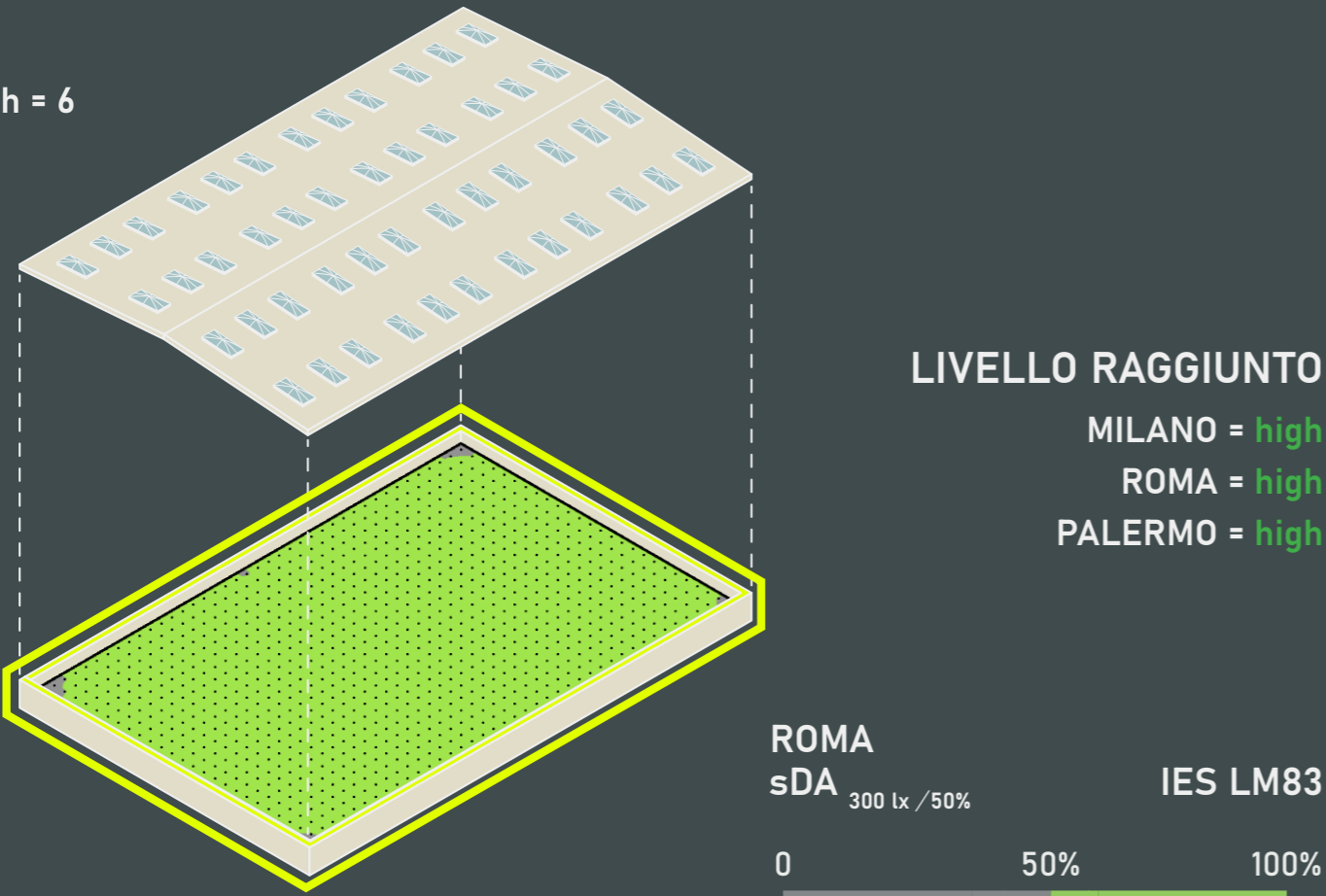
h = 9



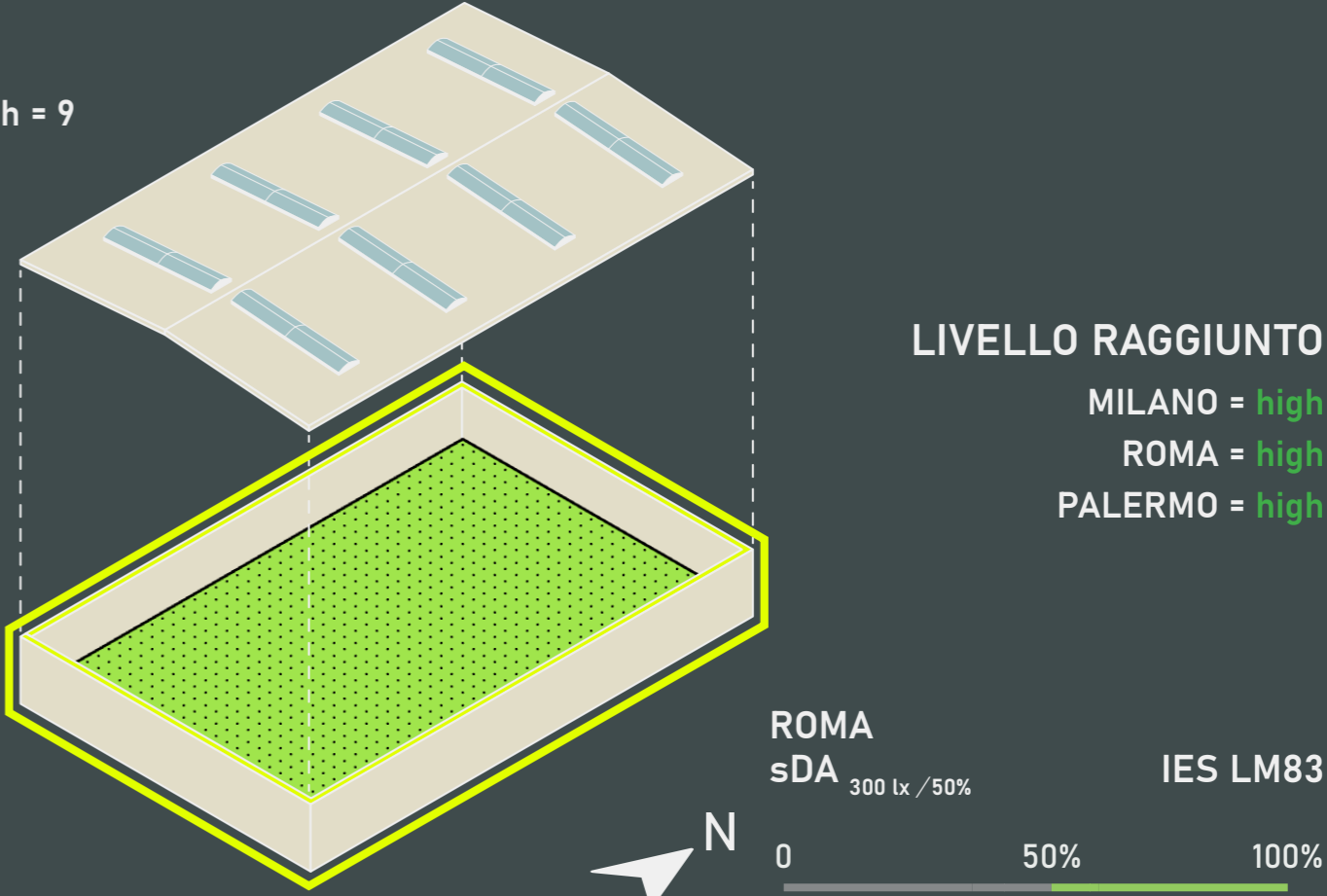
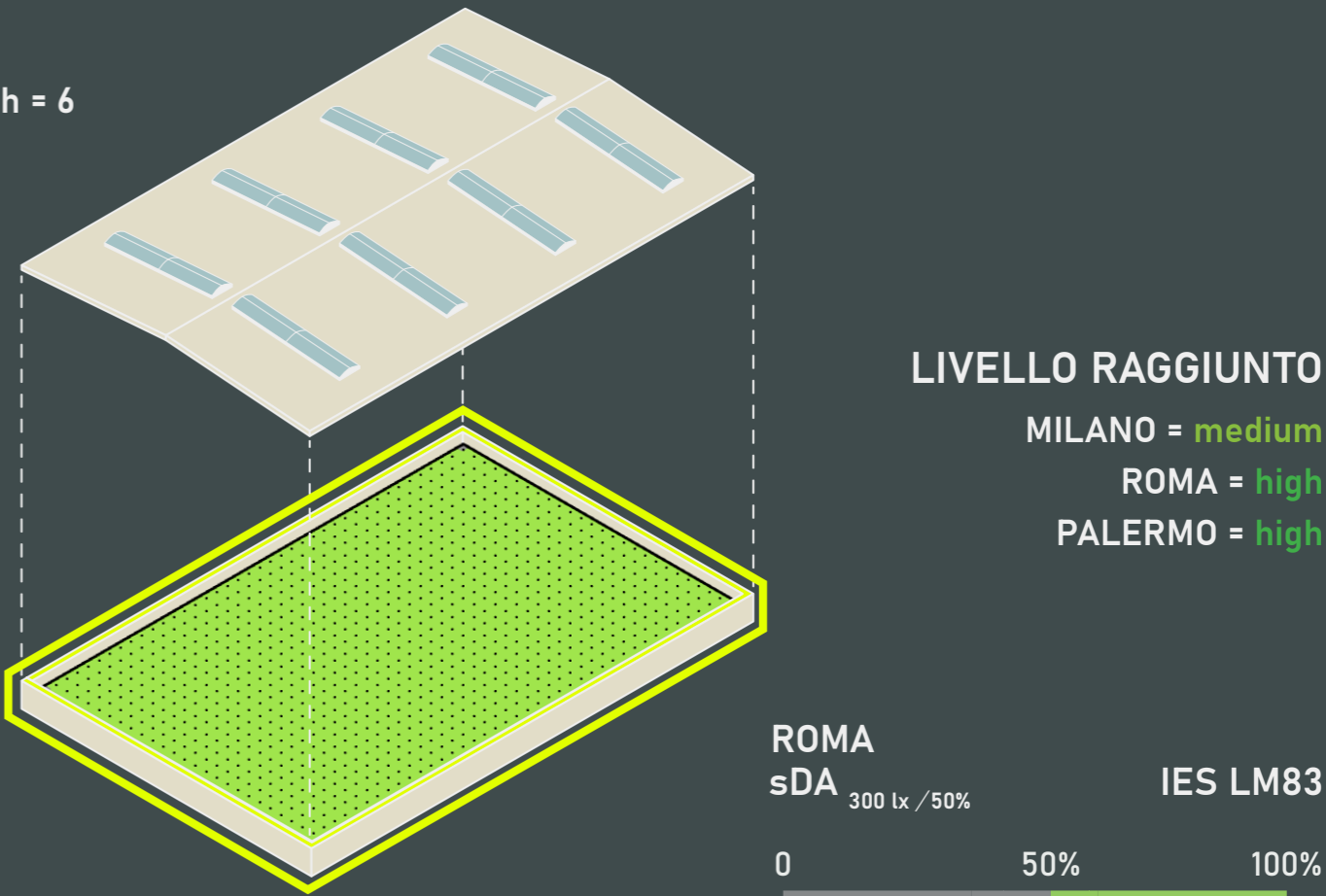
h = 9



Daylight Provision – LUCERNARI PUNTUALI  
MILANO, ROMA e PALERMO



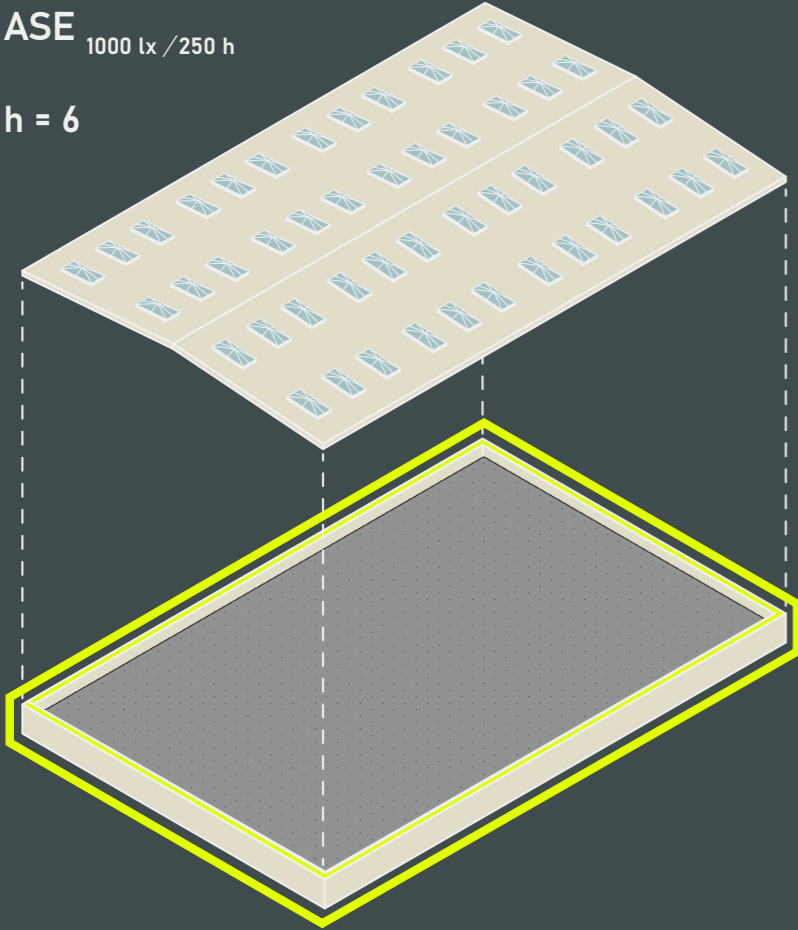
Daylight Provision – LUCERNARI CONTINUI  
MILANO, ROMA e PALERMO



Sunlight Exposure - LUCERNARI PUNTUALI  
MILANO, ROMA e PALERMO

ASE  
1000 lx / 250 h

h = 6



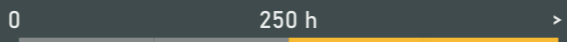
LIVELLO RAGGIUNTO

MILANO = fail  
ROMA = fail  
PALERMO = fail

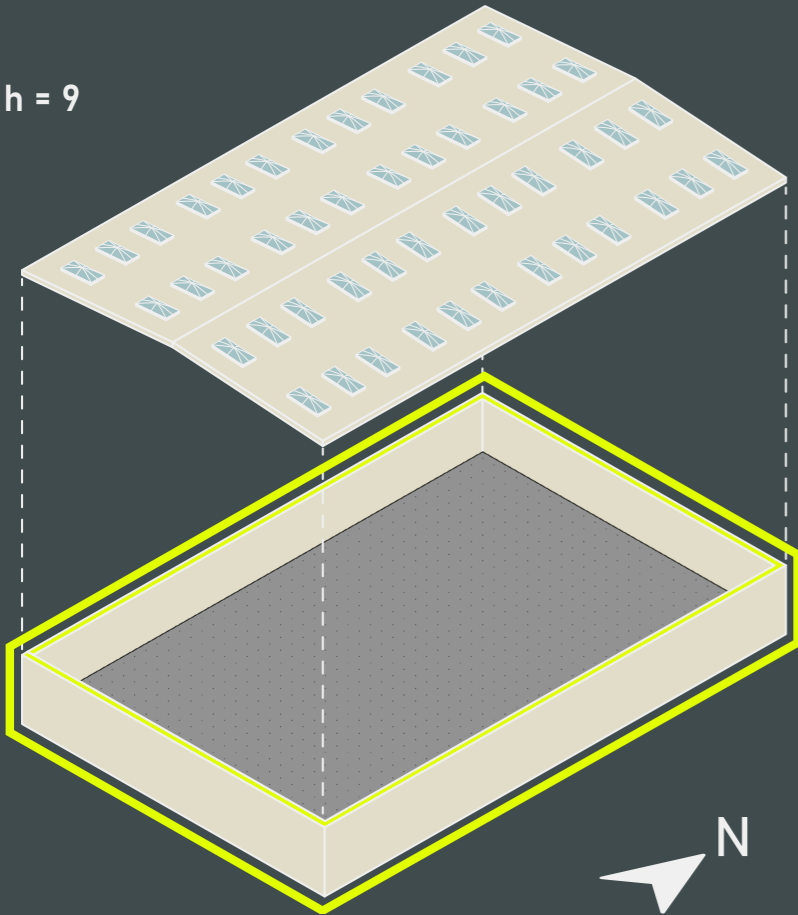
ROMA

ASE  
1000 lx / 250 h

IES LM83



h = 9



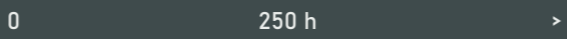
LIVELLO RAGGIUNTO

MILANO = fail  
ROMA = fail  
PALERMO = fail

ROMA

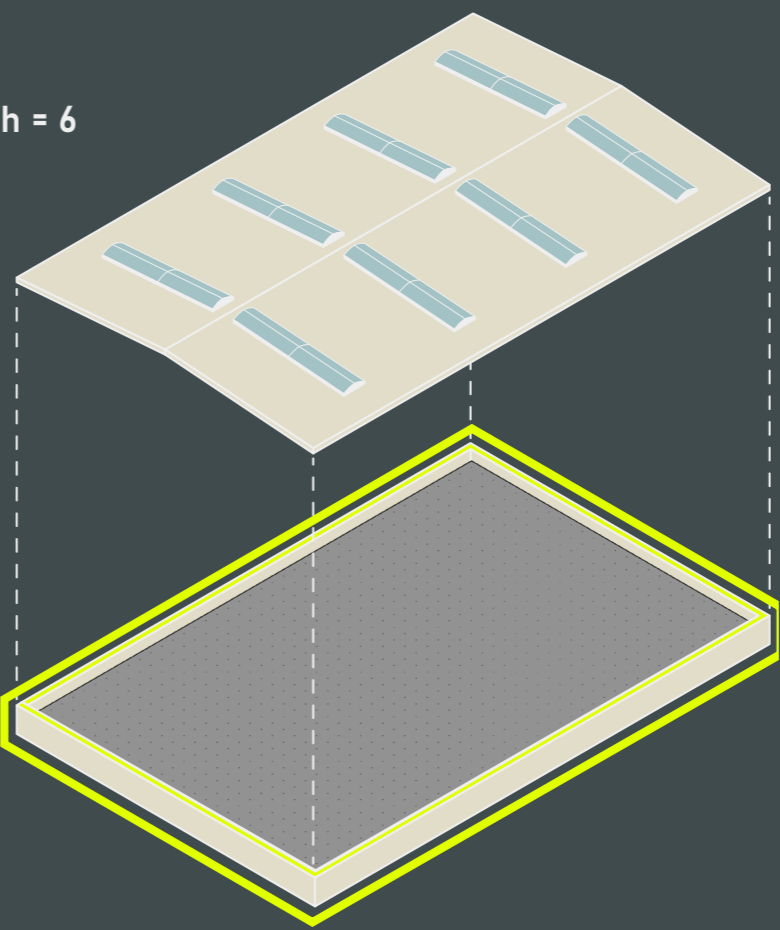
ASE  
1000 lx / 250 h

IES LM83



Sunlight Exposure - LUCERNARI CONTINUI  
MILANO, ROMA e PALERMO

h = 6



LIVELLO RAGGIUNTO

MILANO = fail  
ROMA = fail  
PALERMO = fail

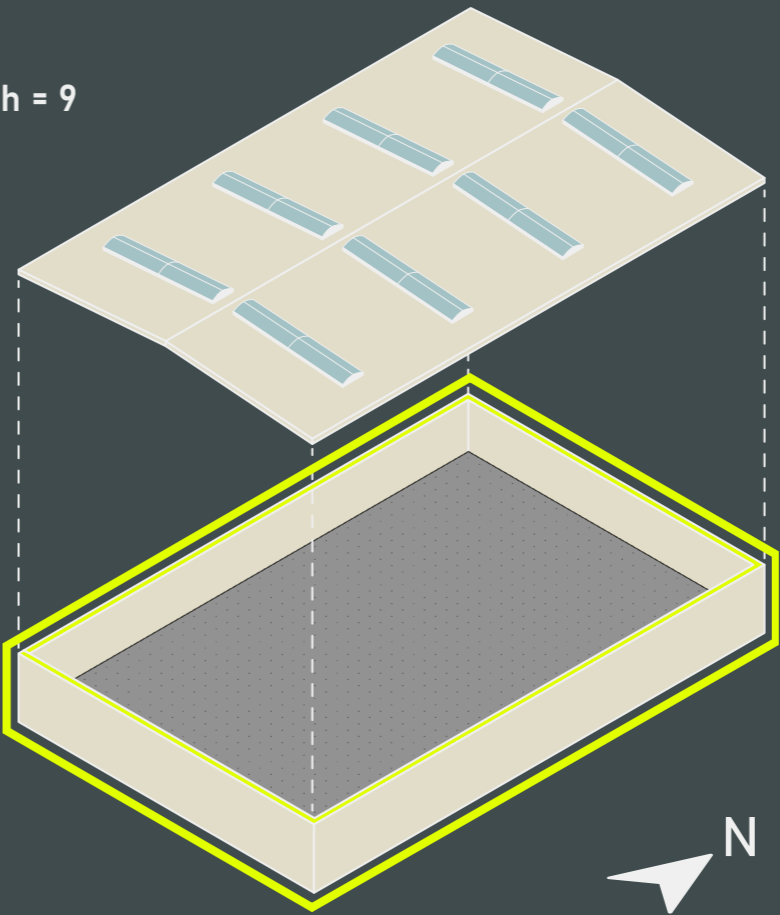
ROMA

ASE  
1000 lx / 250 h

IES LM83



h = 9



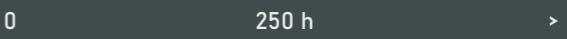
LIVELLO RAGGIUNTO

MILANO = fail  
ROMA = fail  
PALERMO = fail

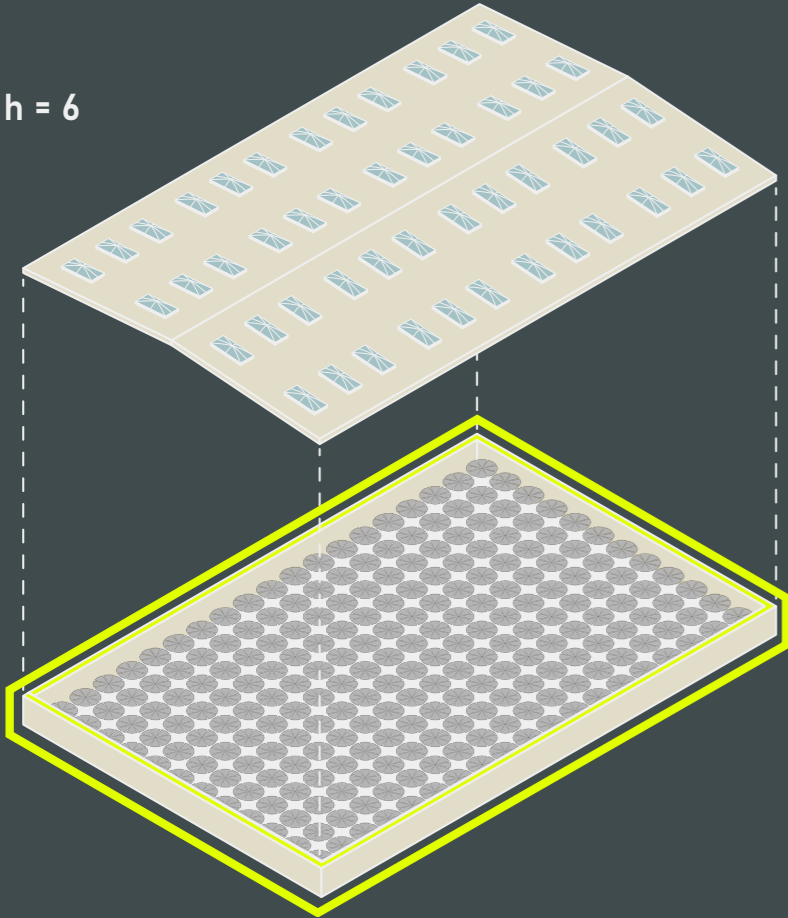
ROMA

ASE  
1000 lx / 250 h

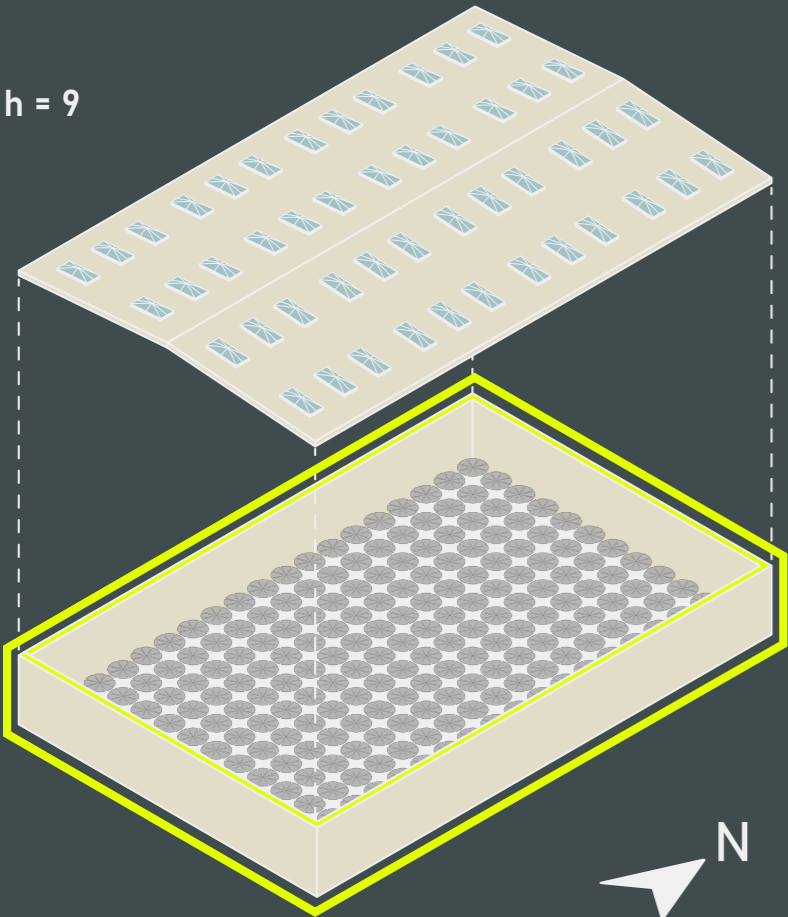
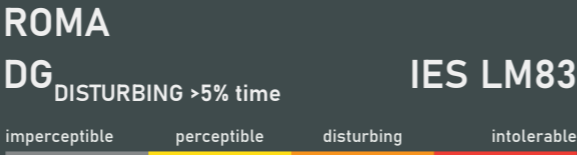
IES LM83



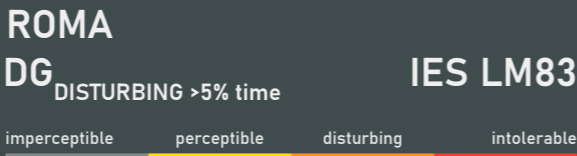
Glare Protection - LUCERNARI PUNTUALI  
MILANO, ROMA e PALERMO



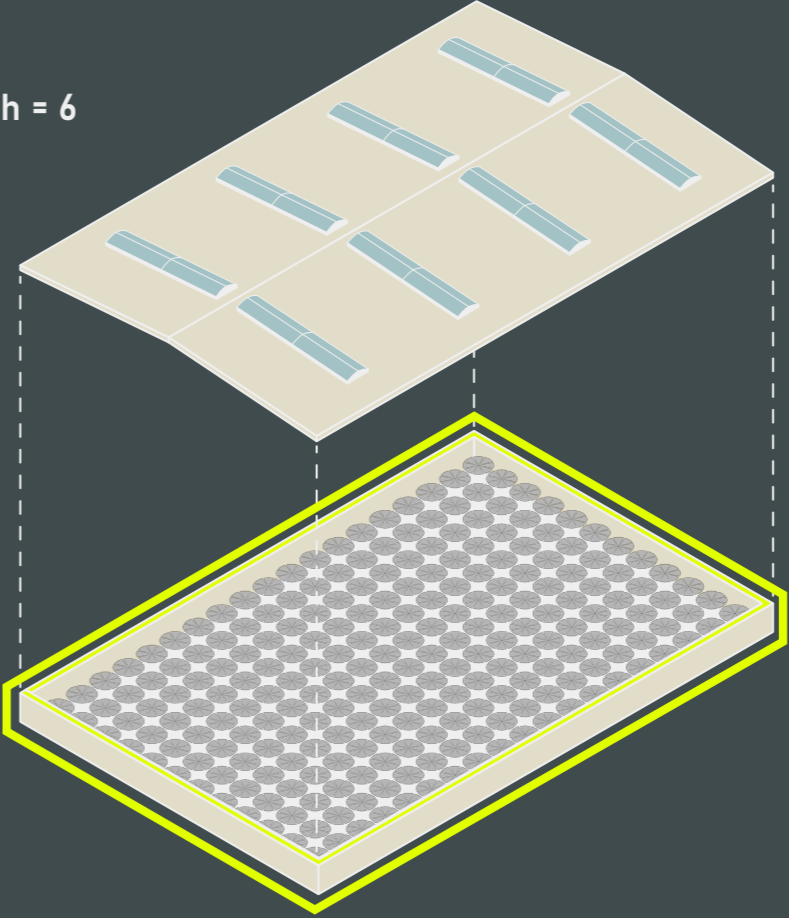
LIVELLO RAGGIUNTO  
MILANO = imperceptibile  
ROMA = imperceptibile  
PALERMO = imperceptibile



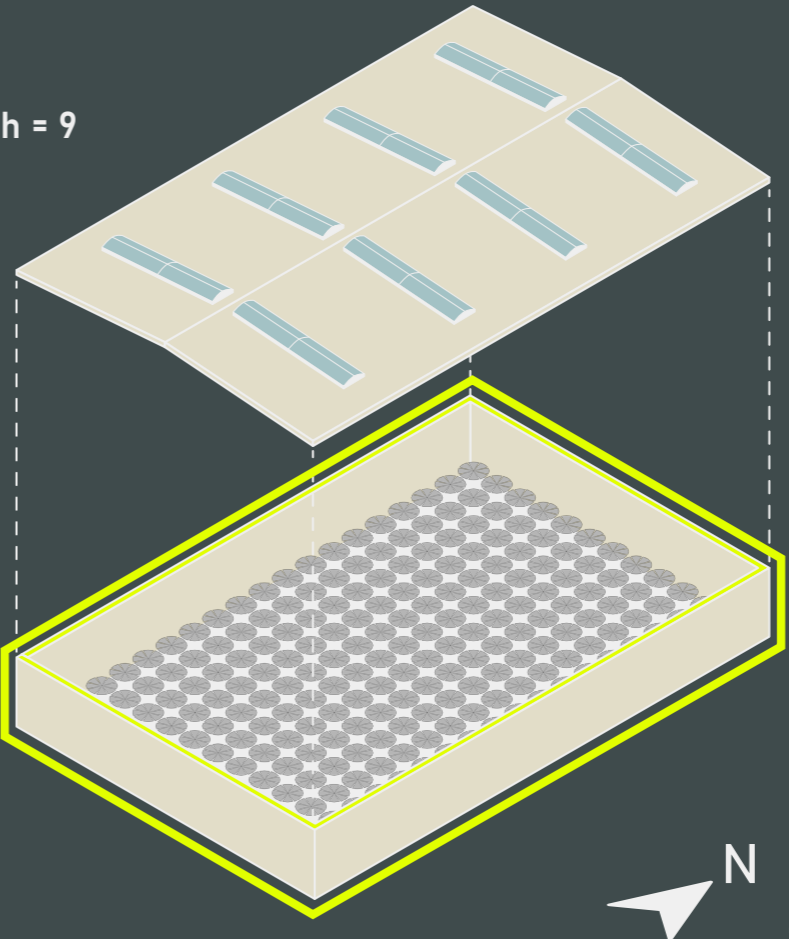
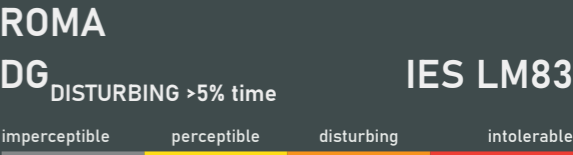
LIVELLO RAGGIUNTO  
MILANO = imperceptibile  
ROMA = imperceptibile  
PALERMO = imperceptibile



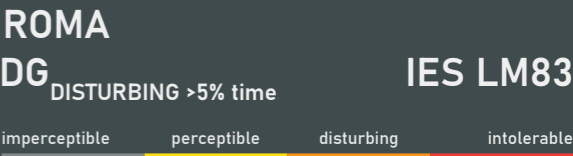
Glare Protection - LUCERNARI CONTINUI  
MILANO, ROMA e PALERMO



LIVELLO RAGGIUNTO  
MILANO = imperceptibile  
ROMA = imperceptibile  
PALERMO = imperceptibile



LIVELLO RAGGIUNTO  
MILANO = imperceptibile  
ROMA = imperceptibile  
PALERMO = imperceptibile



## 6.4.2 RESIDENZA - MILANO

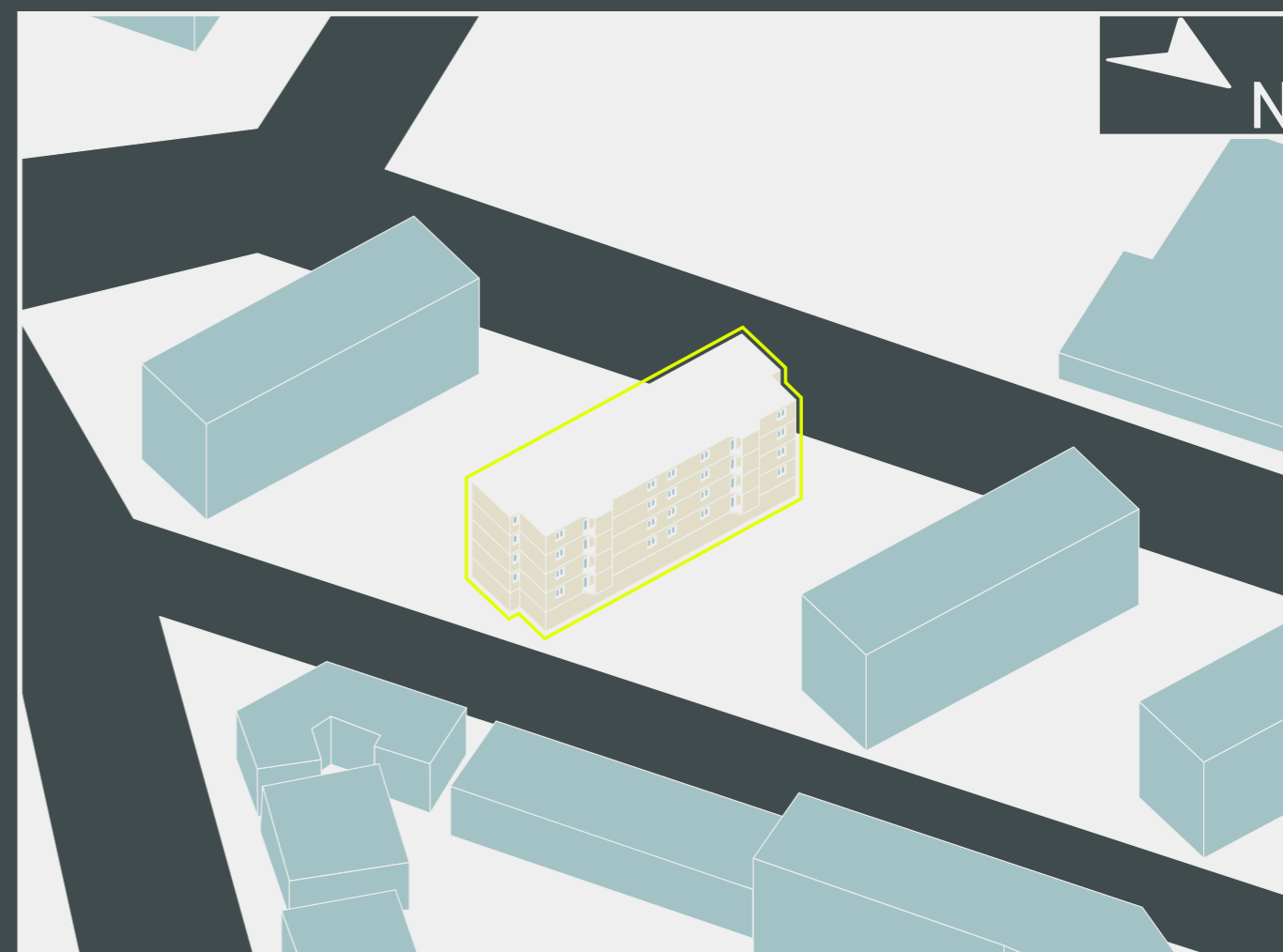
Nella città di Milano i risultati delle simulazioni di sDA riportano un raggiungimento del livello minimo in pochissimi casi. Se per le simulazioni con sistema schermante si raggiunge il valore minimo in soltanto un caso su 84 ambienti analizzati, senza il sistema oscurante la situazione migliora, raggiungendo poco più del 25% degli ambienti. Sono risultati non soddisfacenti, considerando anche il fatto che questo livello è raggiunto negli ambienti esposti a sud-est, che sono quindi soggetti anche ad un elevato livello di radiazione solare diretta e dunque a rischio abbagliamento.

La View Analysis non ottiene risultati complessivamente elevati, presentando anche diverse zone di fail. Questo è dovuto alla dimensione elevata degli ambienti ed alla conformazione dei balconi che impedisce una vista chiara del contesto.

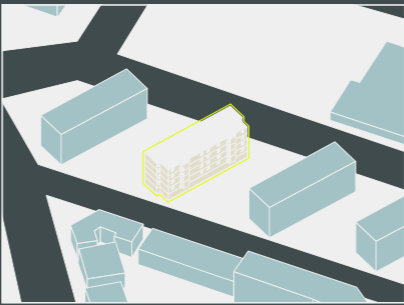
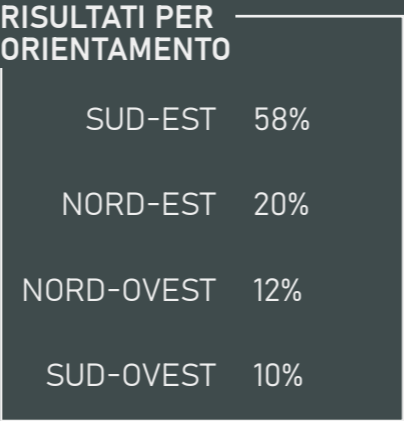
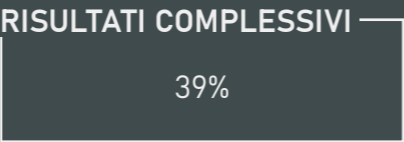
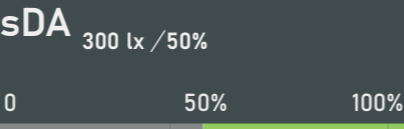
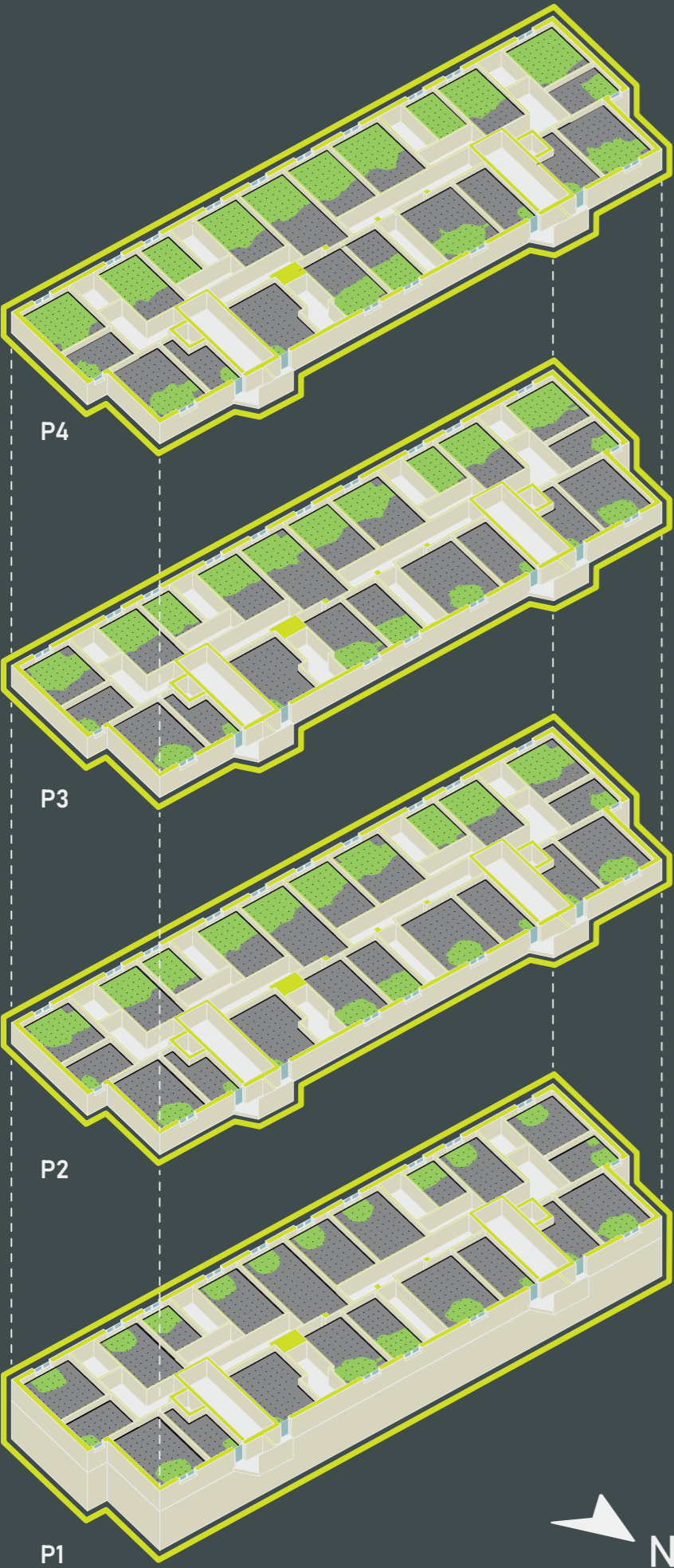
Per quanto riguarda il requisito di SE questo viene rispettato in ognuno degli appartamenti considerati, infatti almeno una stanza per appartamento raggiunge il livello minimo. Rimane il fatto che una sufficiente esposizione solare diretta risulta essere strettamente legata all'orientamento dell'edificio. Gli ambienti esposti a nord, infatti, non raggiungono neanche il livello minimo di esposizione solare diretta.

La verifica del DGP nella simulazione con sistema oscurante presenta un livello minimo per ogni ambiente considerato, sia per la direzione di vista a 90° che quella a 45°.

Svolgendo la simulazione senza sistema oscurante, i risultati variano significativamente come riportato dai grafici.



Daylight Provision NO BLINDS - IES LM83



Daylight Provision NO BLINDS - UNI EN 17037

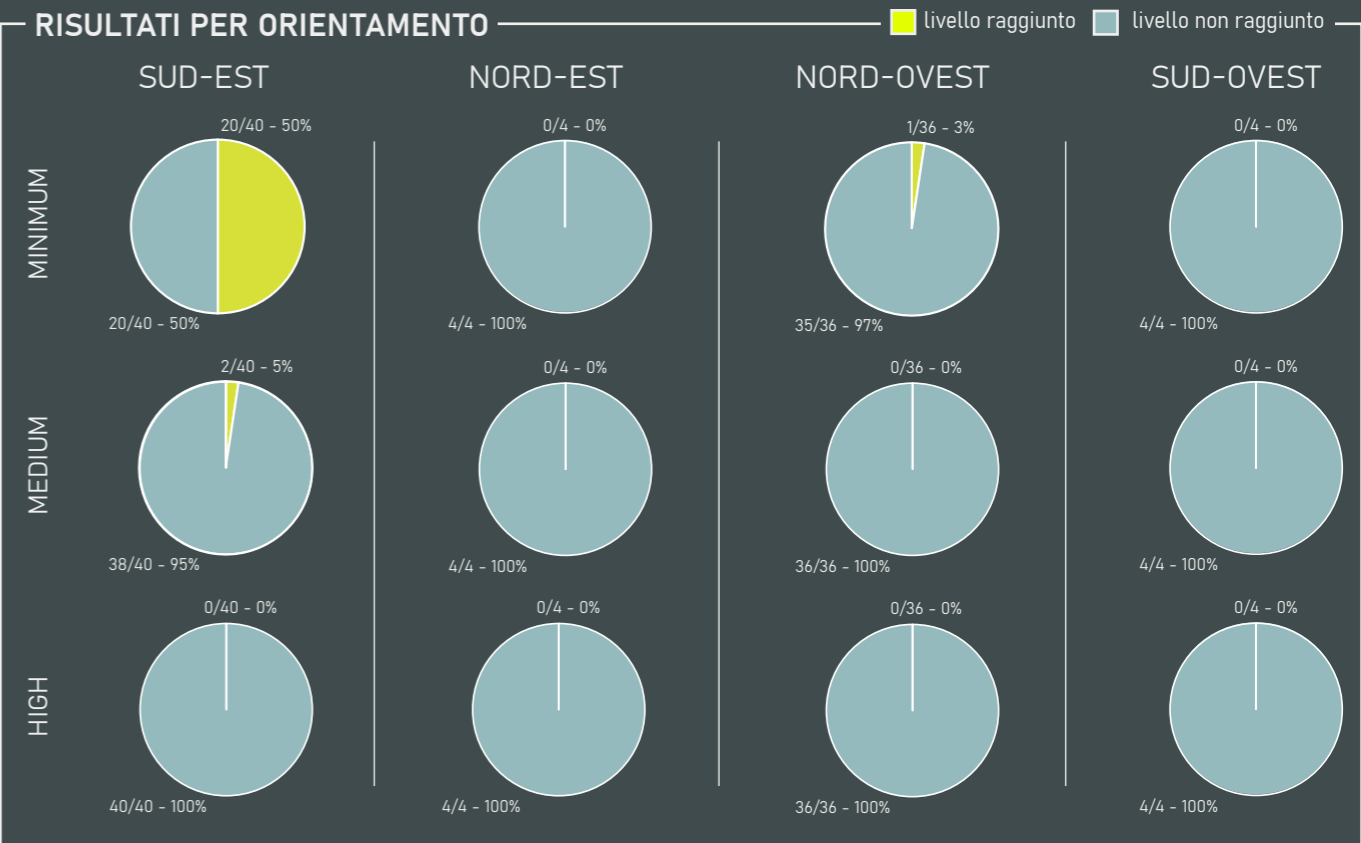
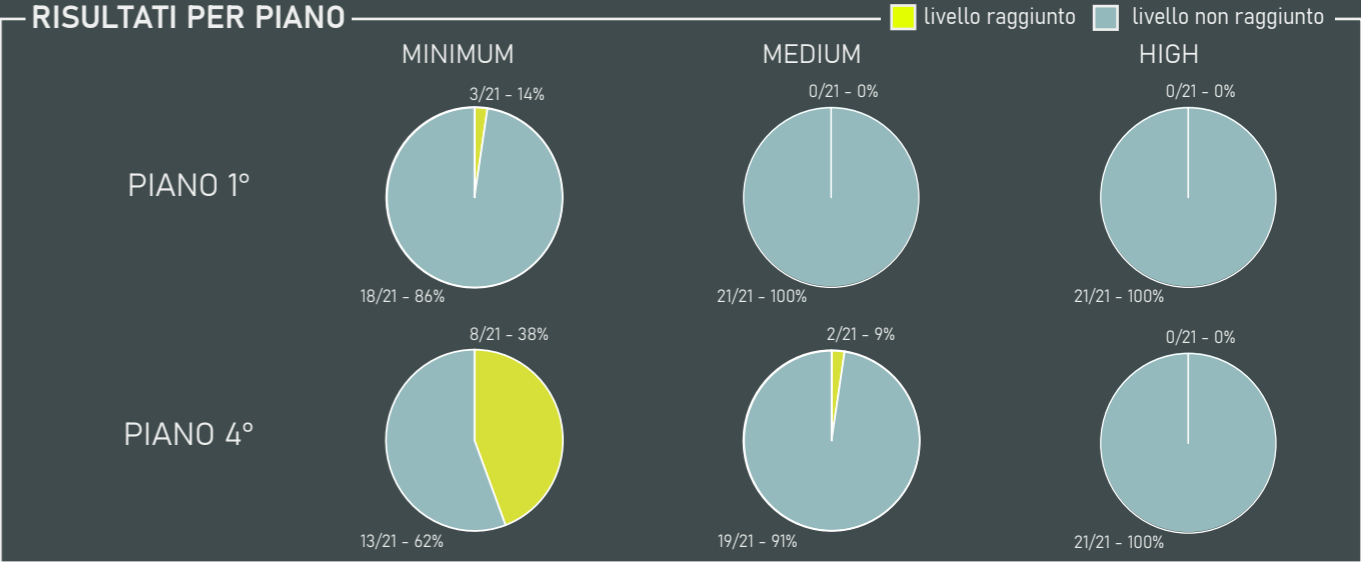
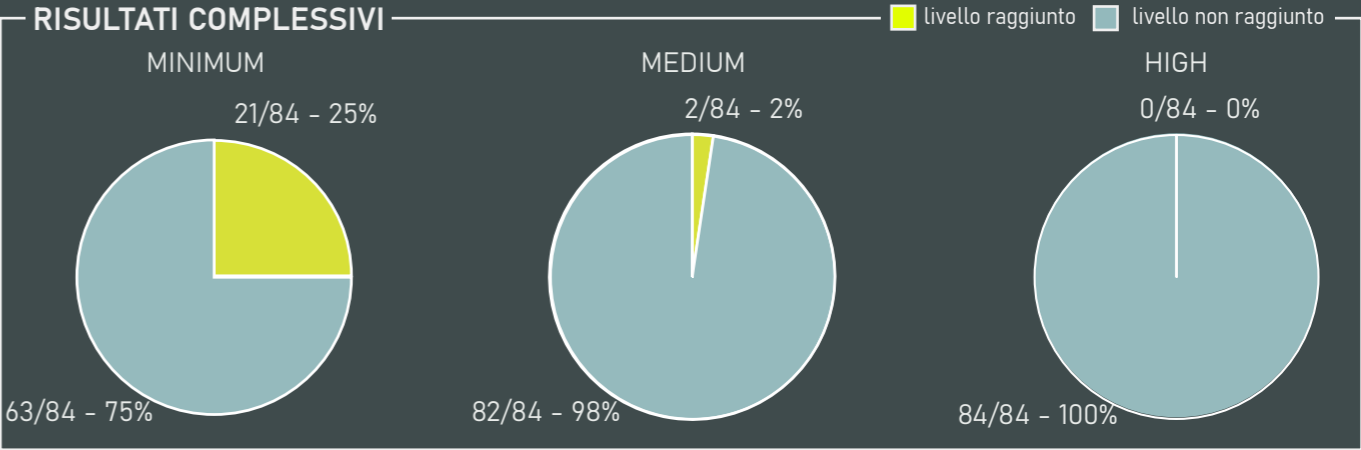


Figure 1 displays four isometric diagrams (P1, P2, P3, P4) illustrating the layout of a multi-story building. The diagrams show a central corridor system connecting various rooms and spaces. The layout is characterized by a central corridor with rooms branching off. The rooms are highlighted in yellow, and the corridors are shown in a light gray color. The diagrams are labeled P1, P2, P3, and P4, indicating different levels or sections of the building. A north arrow is located in the bottom right corner of the diagram.

### RISULTATI COMPLESSIVI

MINIMUM      MEDIUM      HIGH

1/84 - 1%      0/84 - 0%      0/84 - 0%

83/84 - 99%      84/84 - 100%      84/84 - 100%

### RISULTATI PER PIANO

MINIMUM      MEDIUM      HIGH

PIANO 1°      0/21 - 0%      0/21 - 0%      0/21 - 0%

21/21 - 100%      21/21 - 100%      21/21 - 100%

PIANO 4°      1/21 - 5%      0/21 - 0%      0/21 - 0%

20/21 - 95%      21/21 - 100%      21/21 - 100%

### RISULTATI PER ORIENTAMENTO

SUD-EST      NORD-EST      NORD-OVEST      SUD-OVEST

MINIMUM      0/40 - 0%      0/4 - 0%      1/36 - 3%      0/4 - 0%

40/40 - 100%      4/4 - 100%      35/36 - 95%      4/4 - 100%

MEDIUM      0/40 - 0%      0/4 - 0%      0/36 - 0%      0/4 - 0%

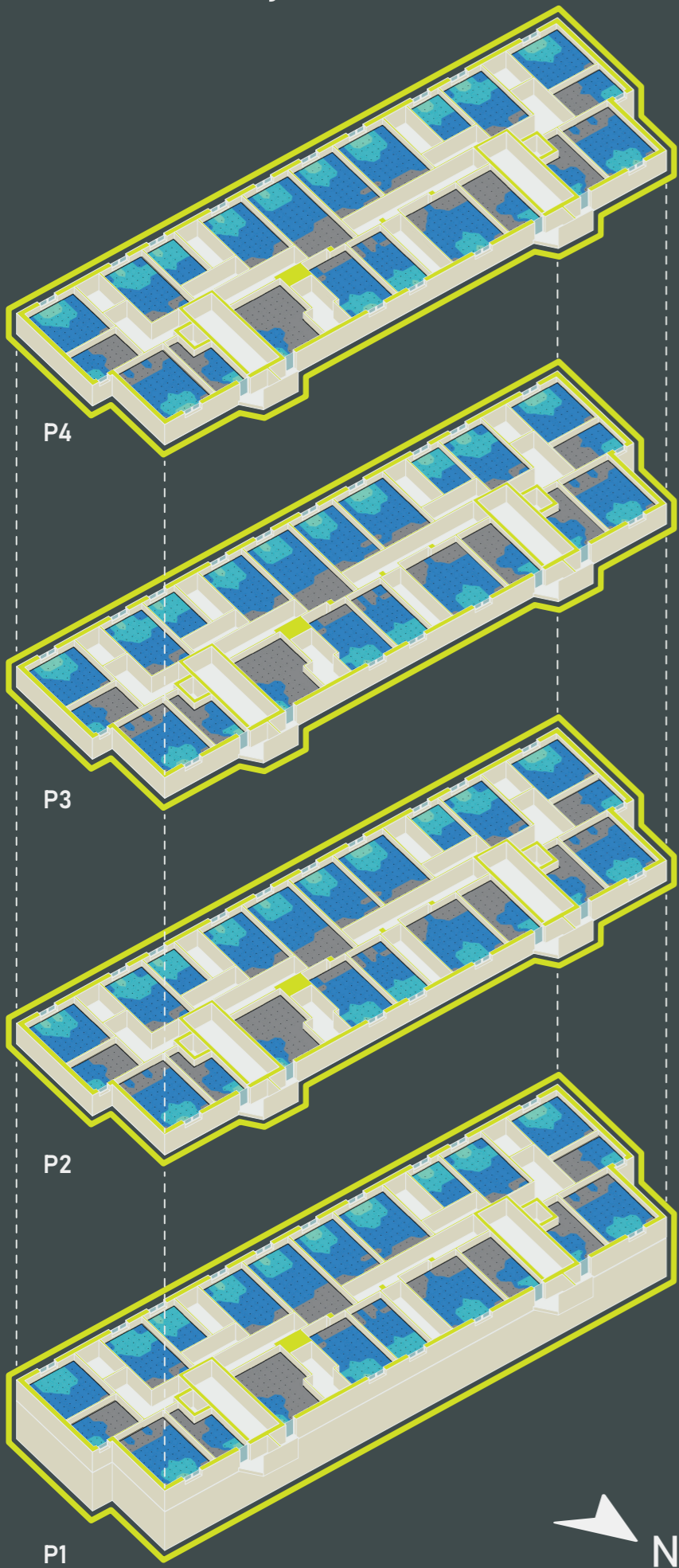
40/40 - 100%      4/4 - 100%      36/36 - 100%      4/4 - 100%

HIGH      0/40 - 0%      0/4 - 0%      0/36 - 0%      0/4 - 0%

40/40 - 100%      4/4 - 100%      36/36 - 100%      4/4 - 100%

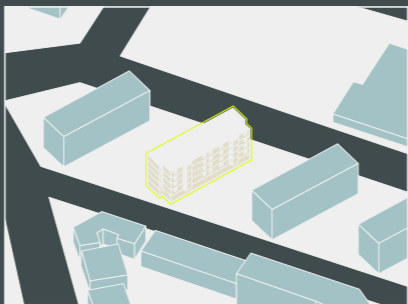
livello raggiunto      livello non raggiunto

View Out Analysis - UNI EN 17037

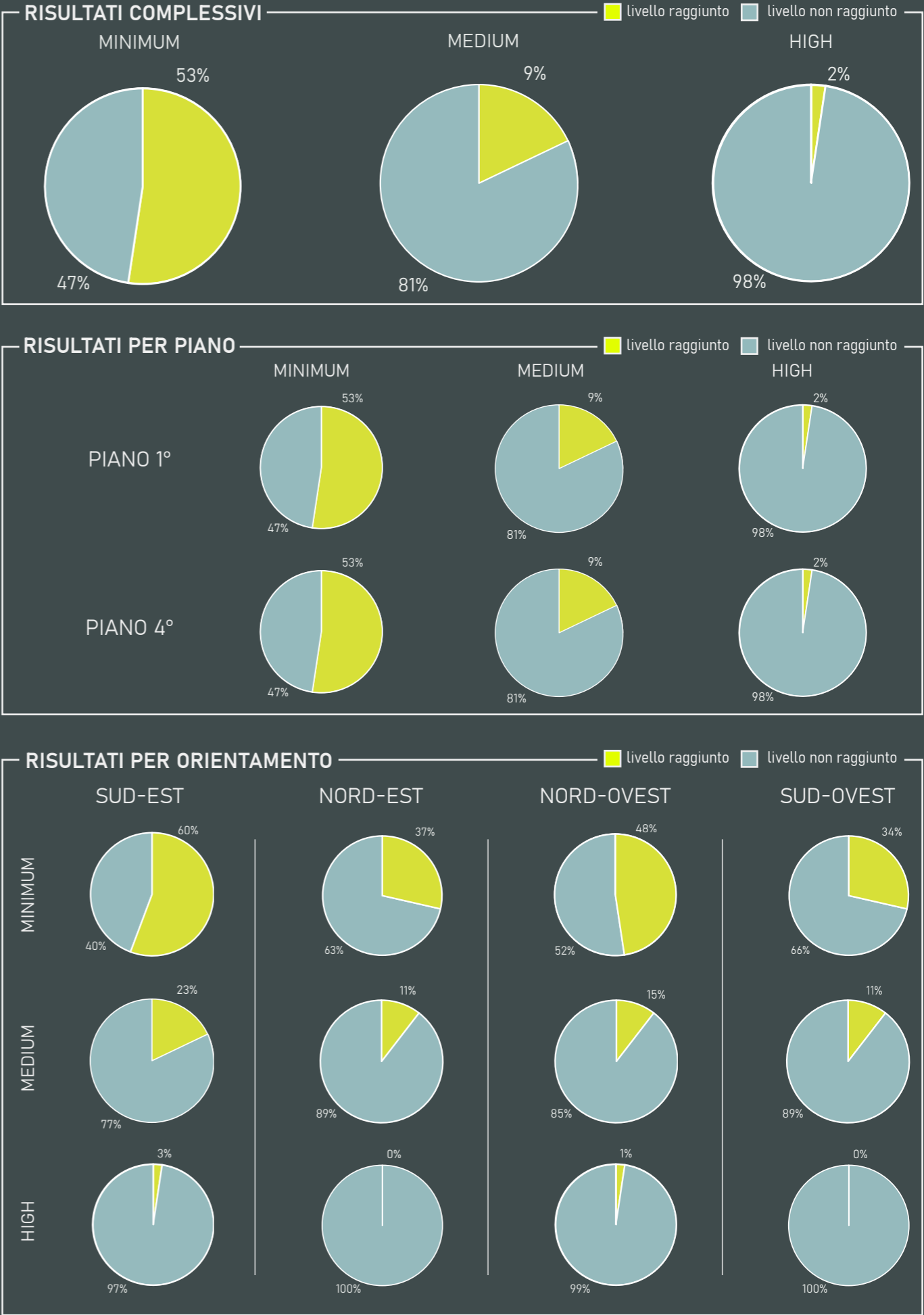


View Out Analysis

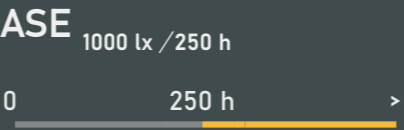
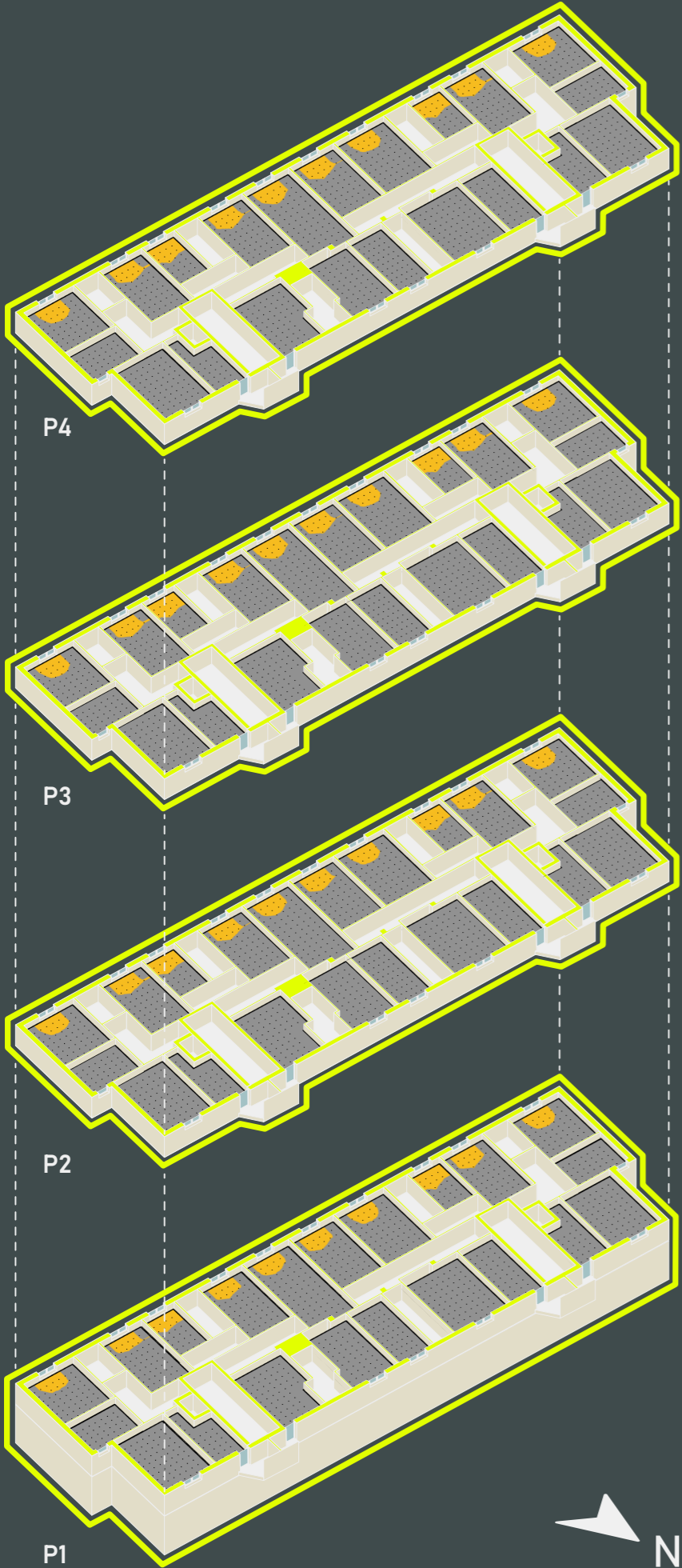
fail minimum medium high



View Analysis - UNI EN 17037



Annual Sunlight Exposure - IES LM83



RISULTATI COMPLESSIVI

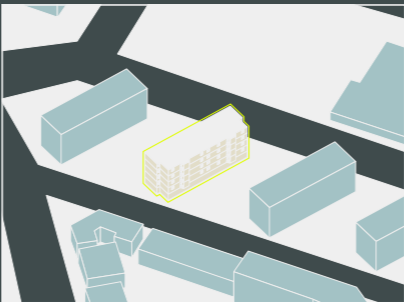
8%
----

RISULTATI PER PIANO

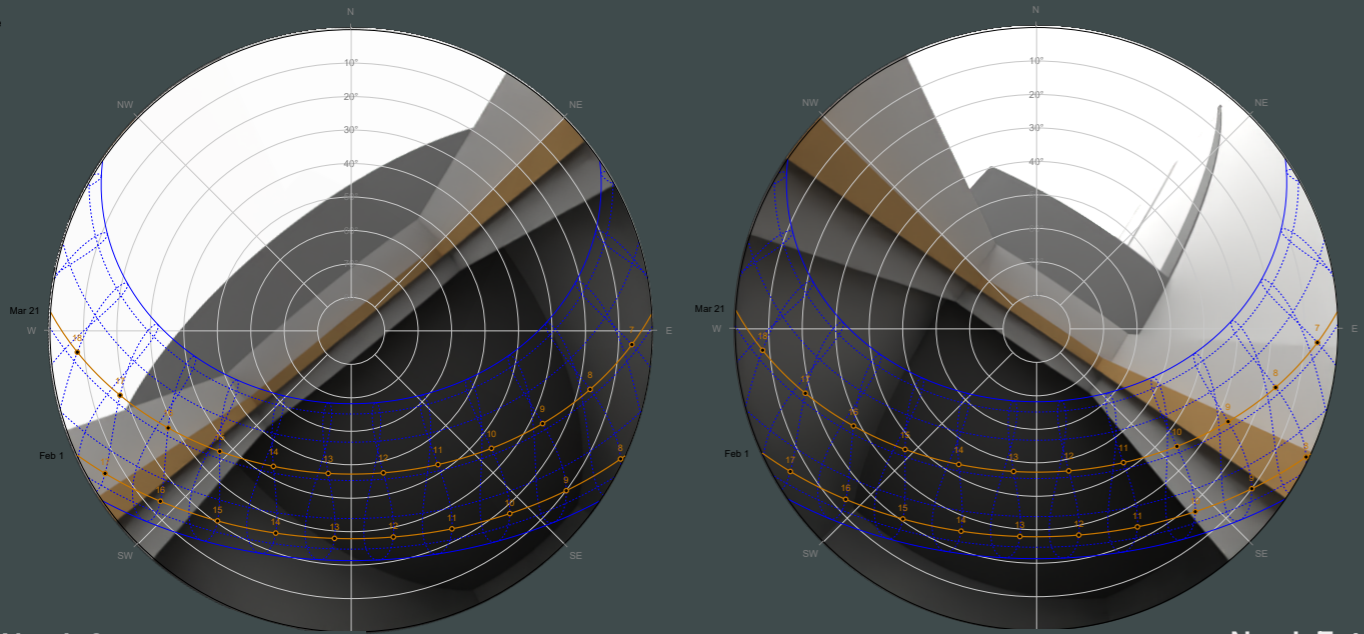
PIANO 1:	7%
PIANO 4:	8%

RISULTATI PER ORIENTAMENTO

SUD-EST	8%
NORD-EST	0%
NORD-OVEST	0%
SUD-OVEST	0%

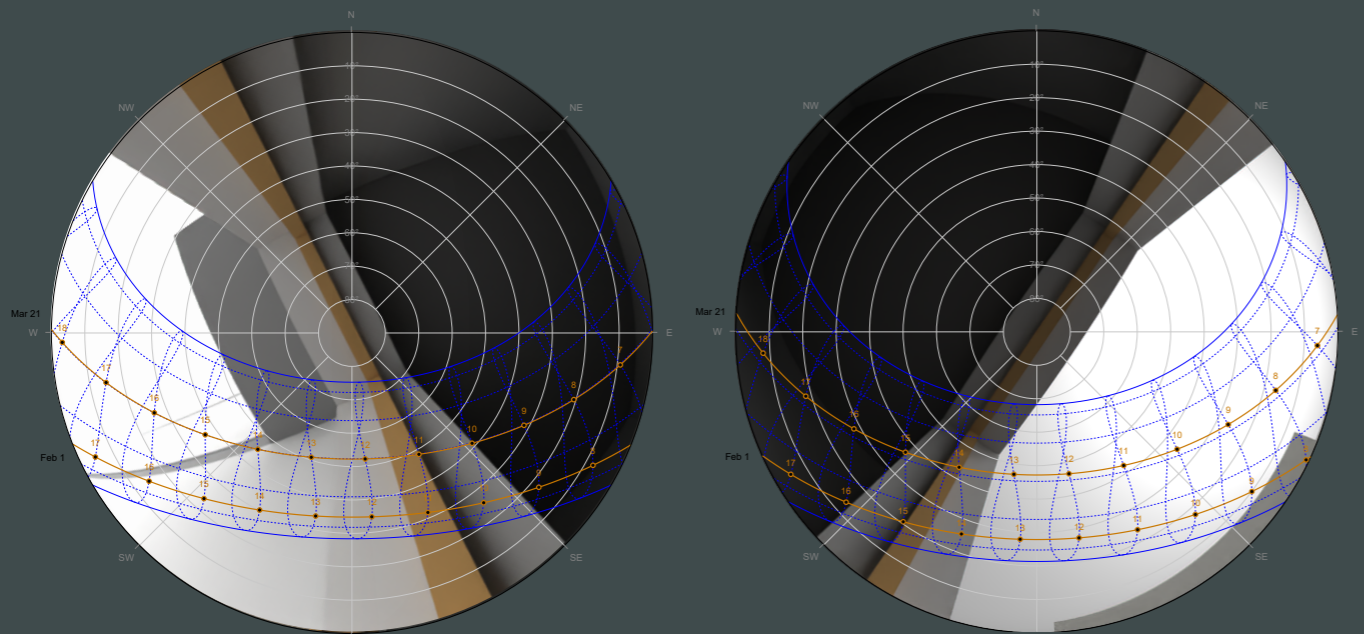


Sunlight Exposure - UNI EN 17037



Nord-Ovest

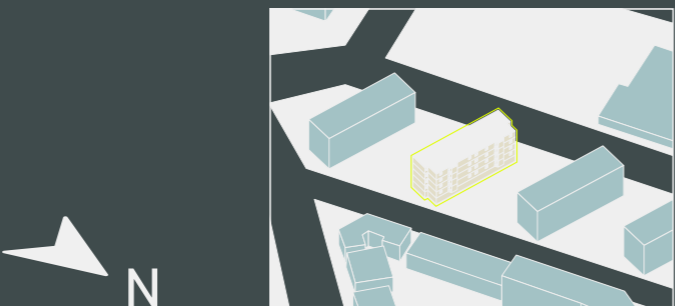
Nord-Est



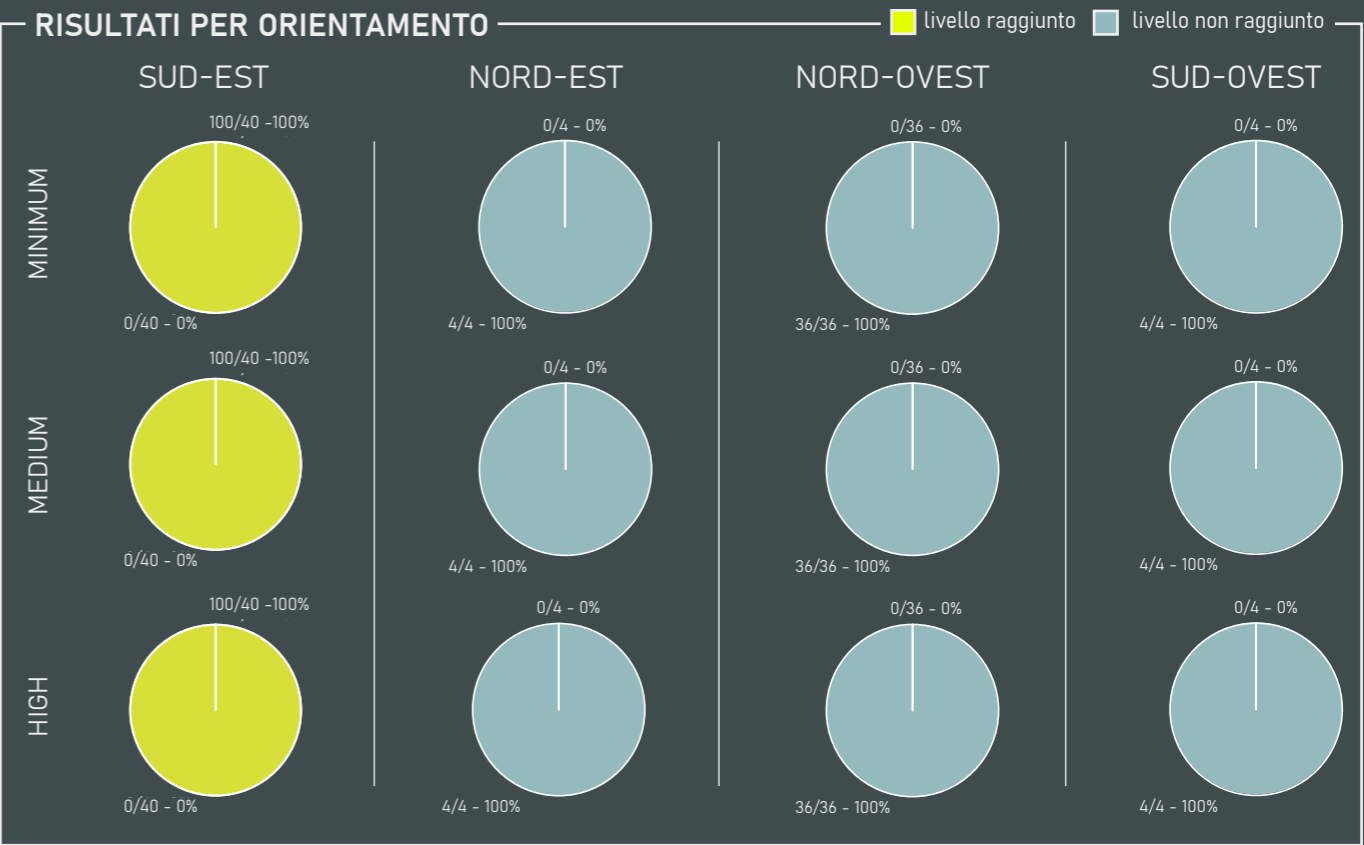
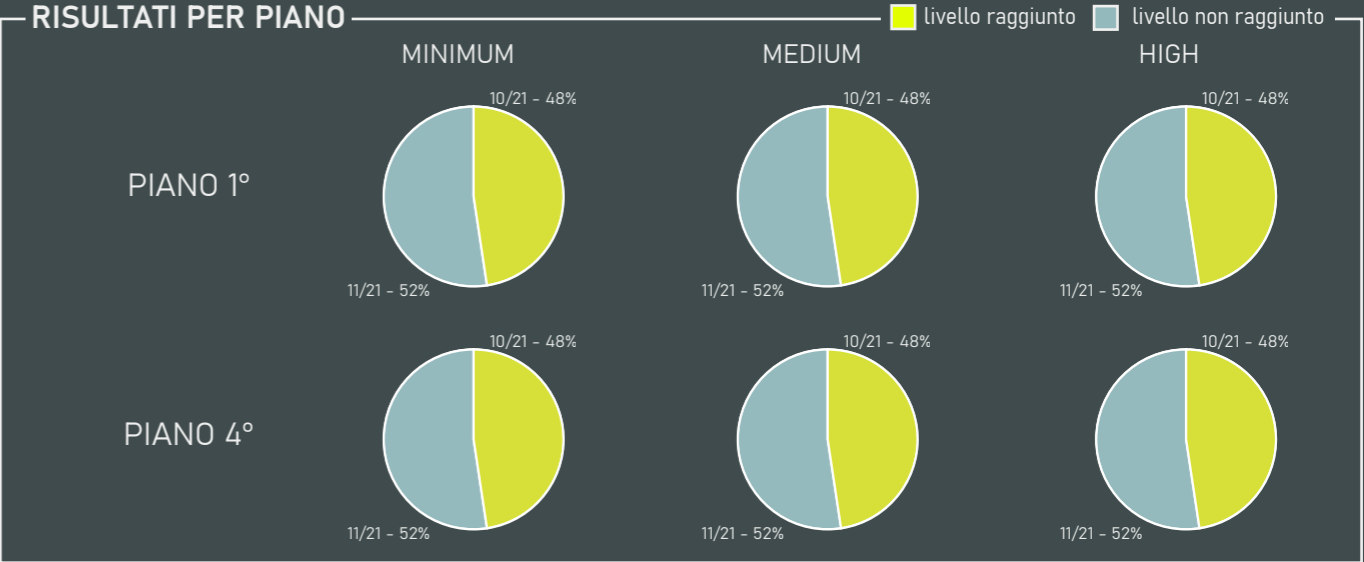
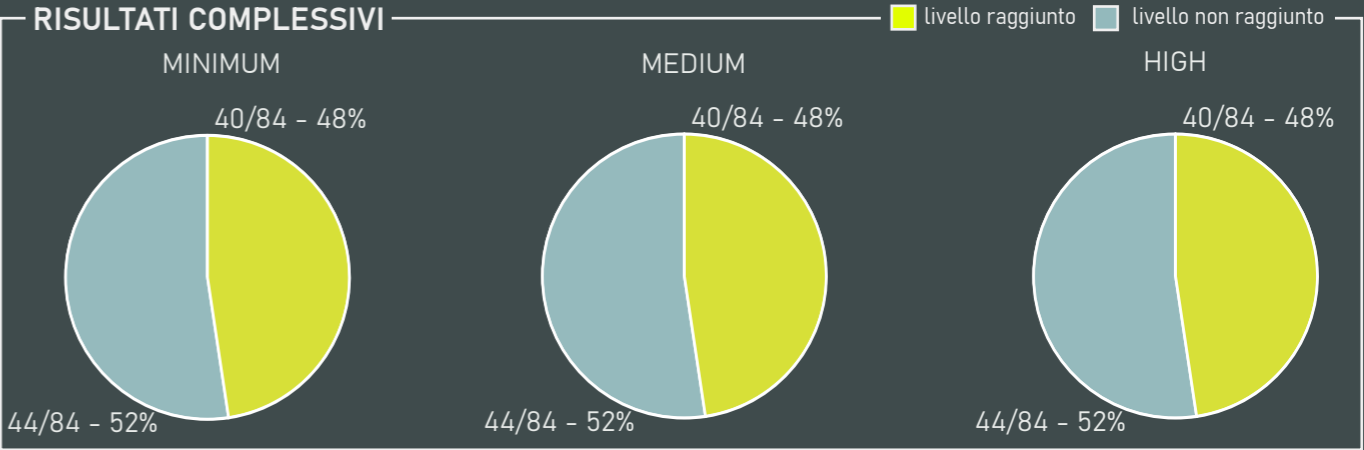
Sud\_Ovest

Sud-Est

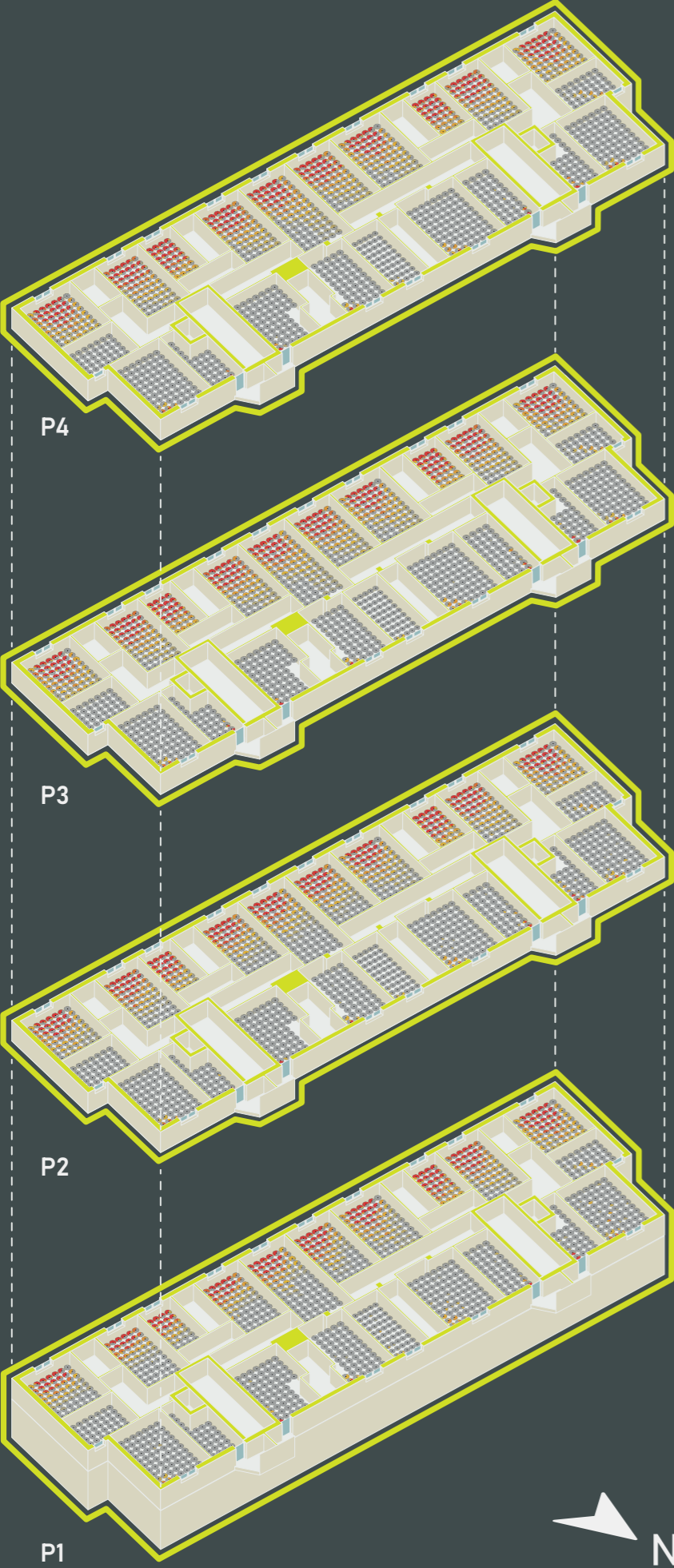
Immagini relative al primo piano



Sunlight Exposure - UNI EN 17037



Daylight Glare NO BLINDS - IES LM83



DGD  
DISTURBING >5% time

imperceptible perceptible disturbing intolerable

RISULTATI COMPLESSIVI

7%

RISULTATI PER PIANO

PIANO 1: 6%

PIANO 4: 8%

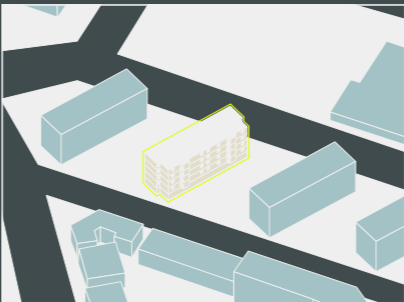
RISULTATI PER ORIENTAMENTO

SUD-EST 16%

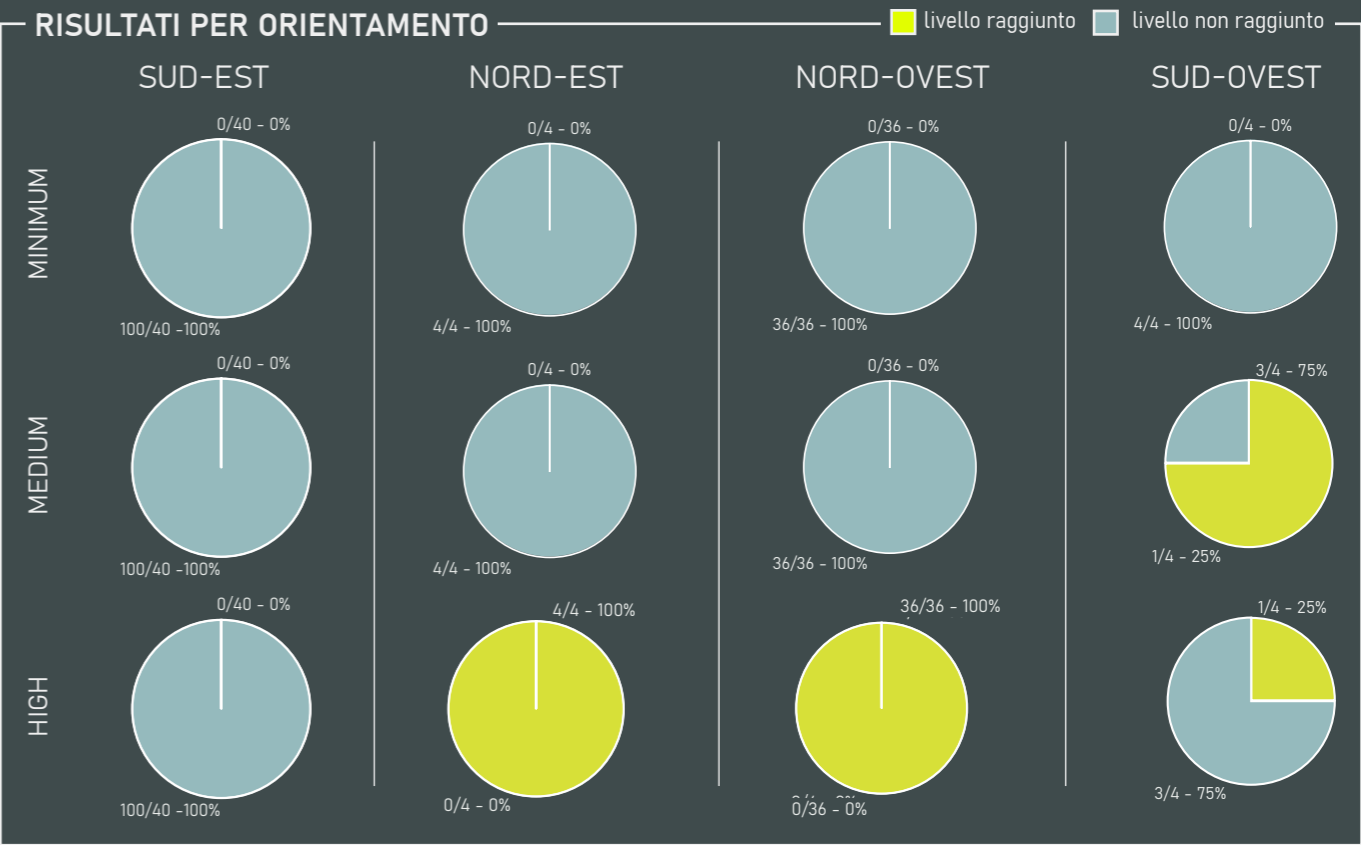
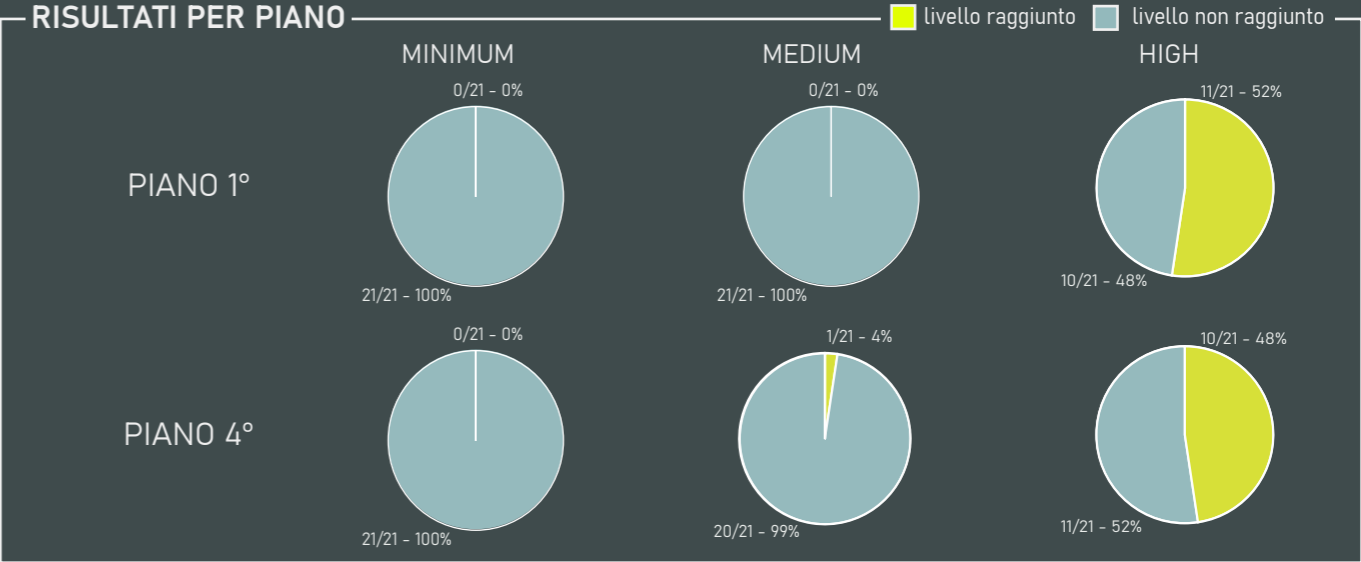
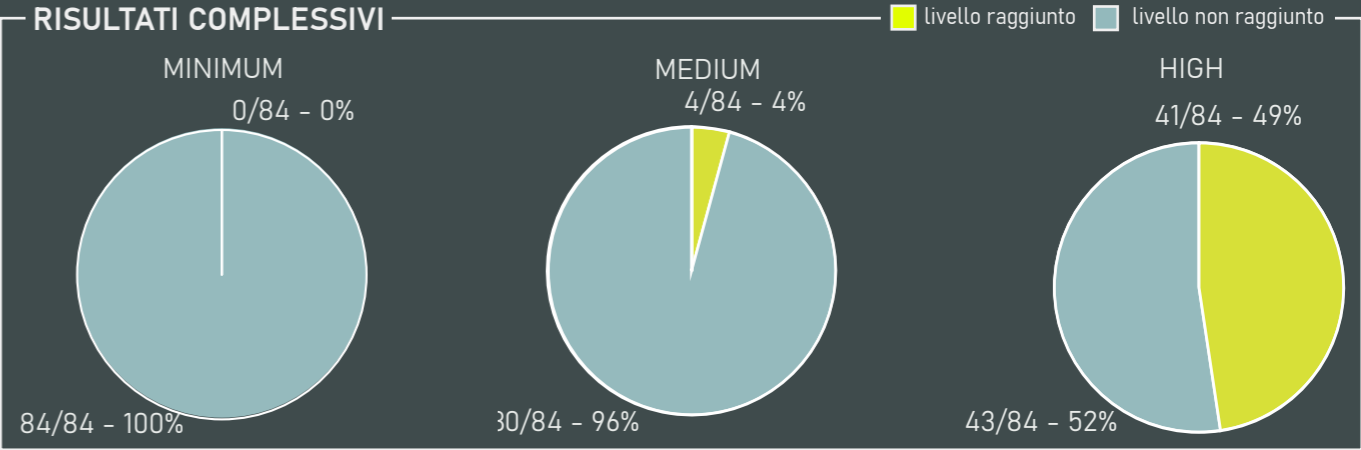
NORD-EST 0%

NORD-OVEST 1%

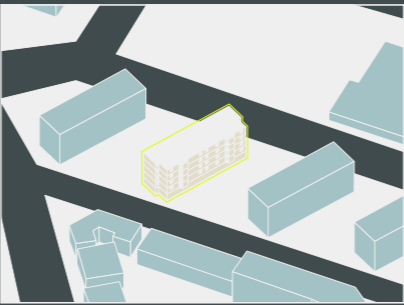
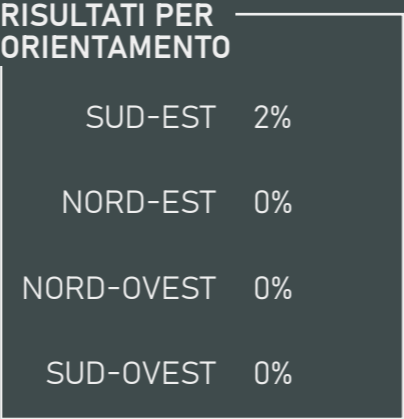
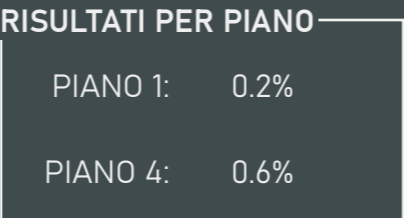
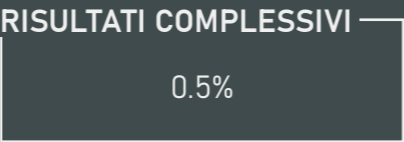
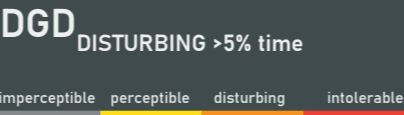
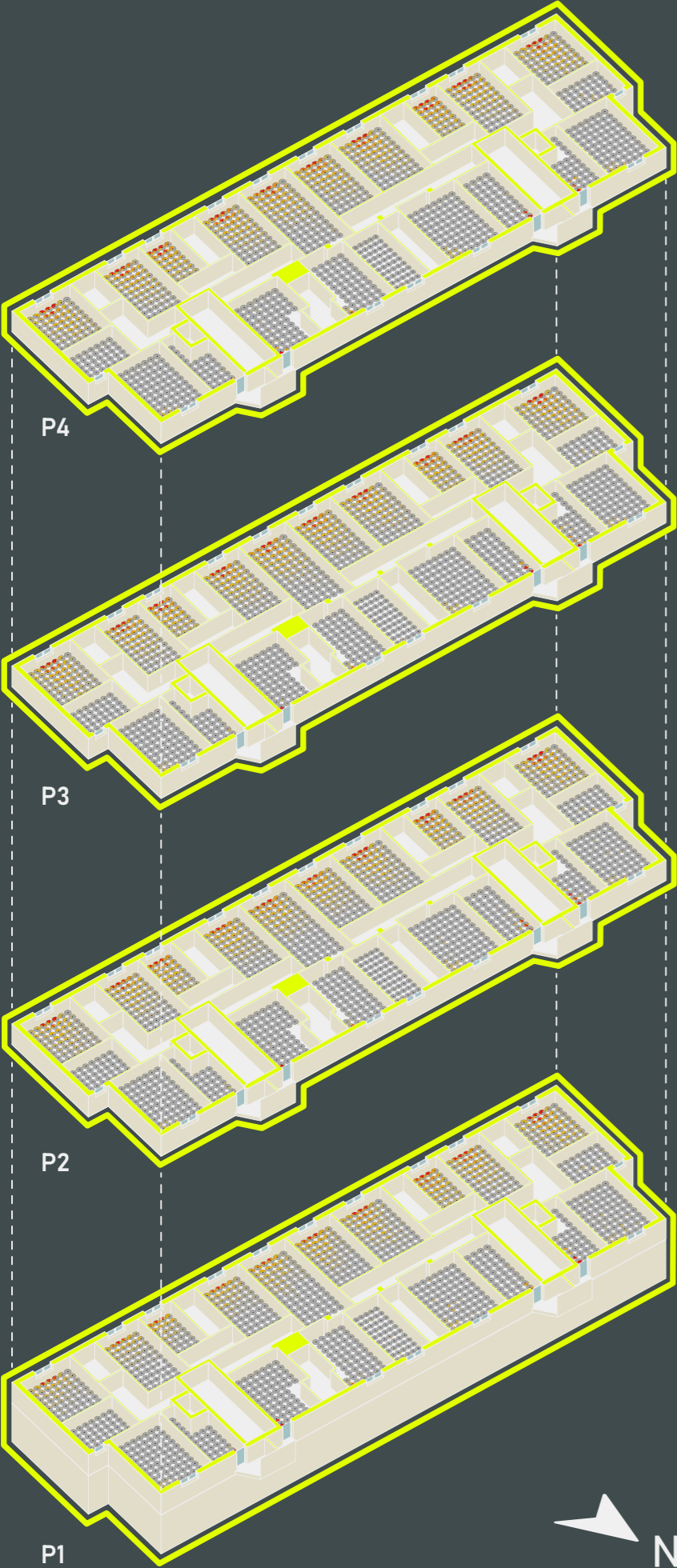
SUD-OVEST 3%



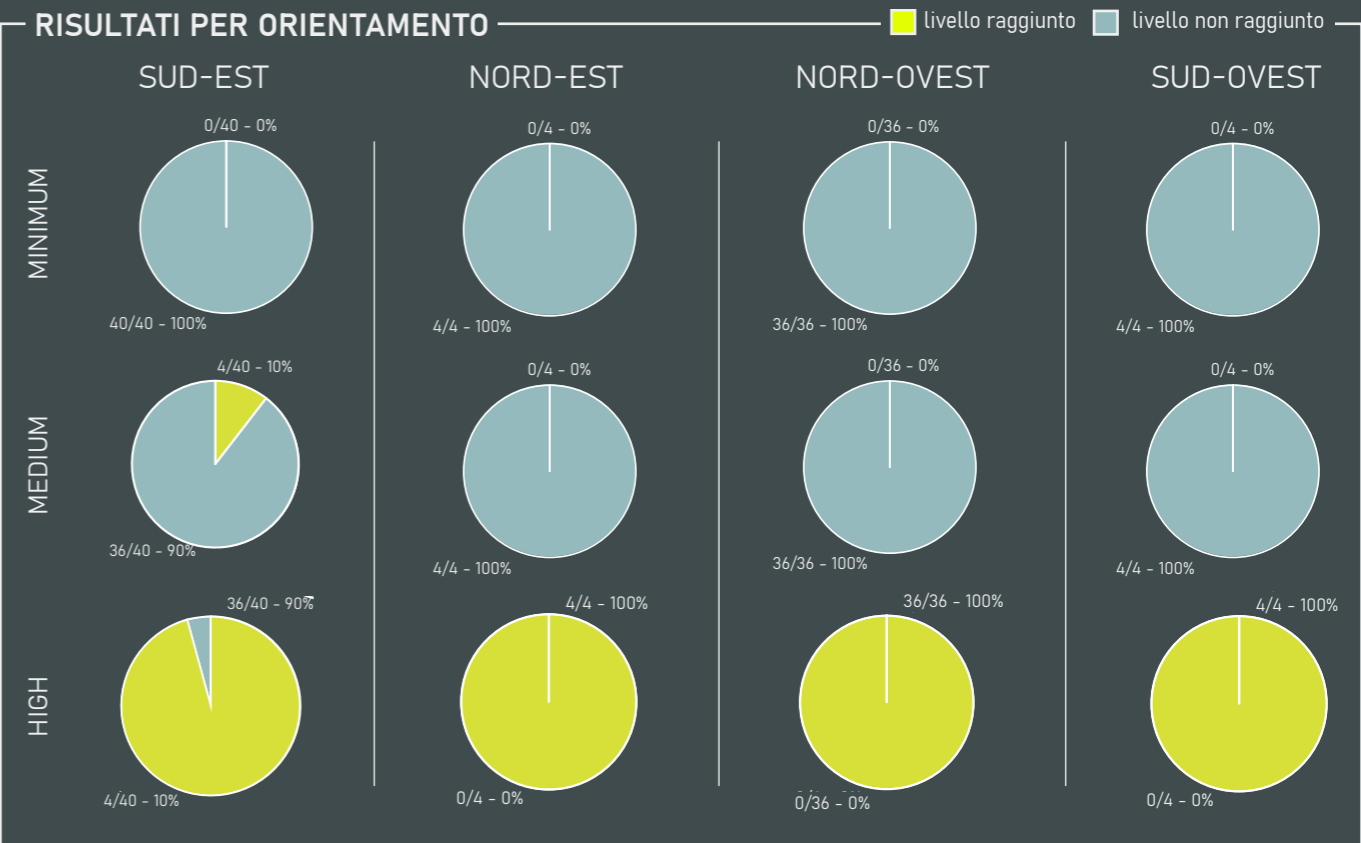
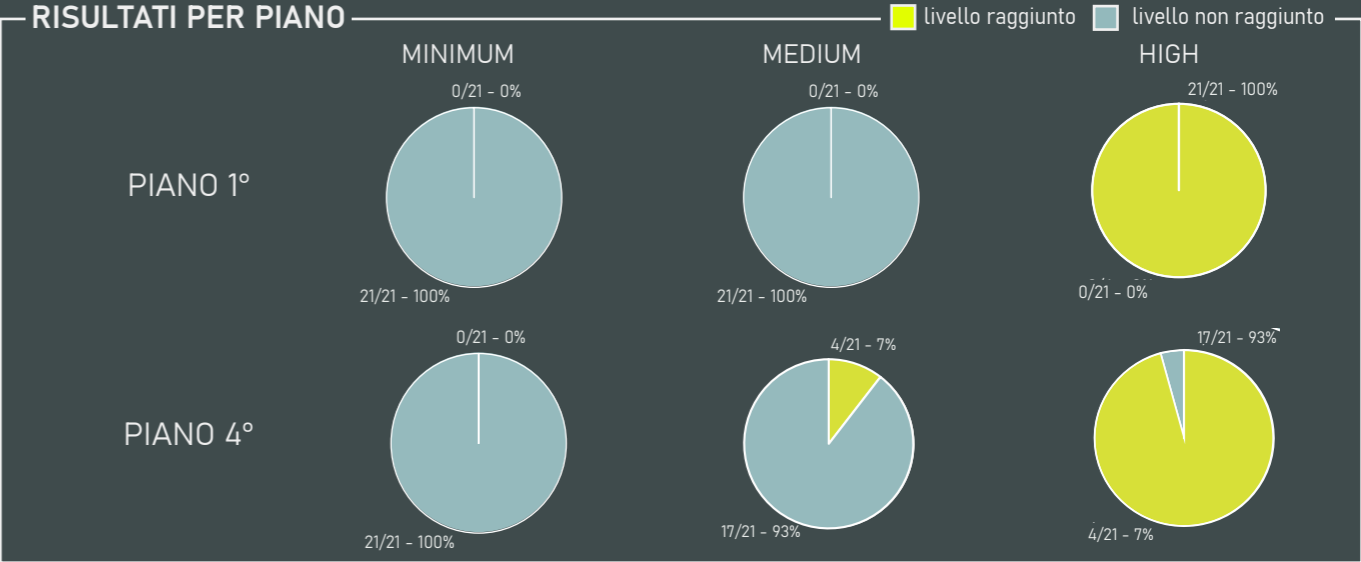
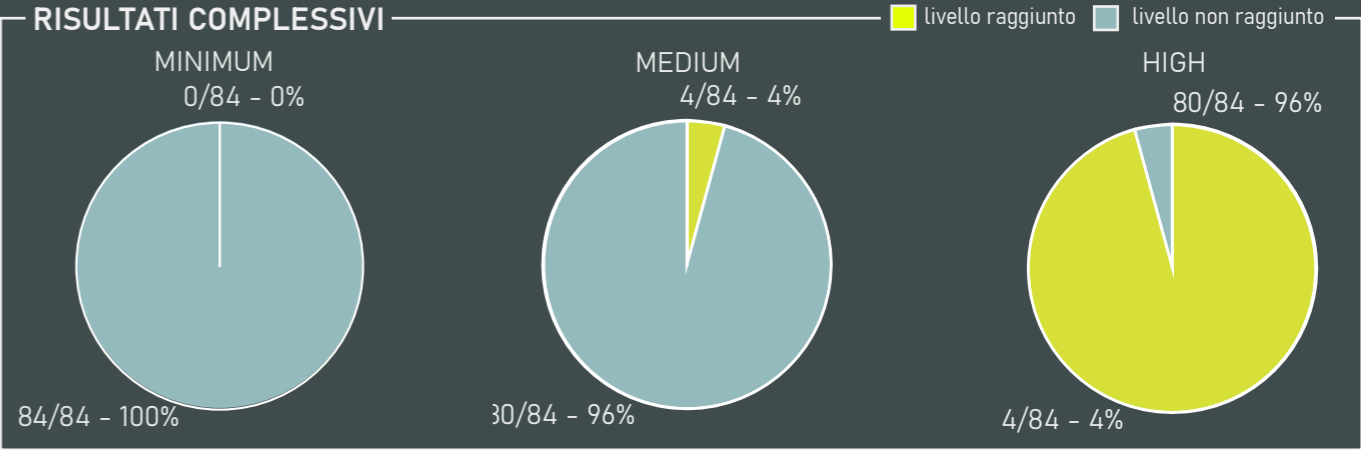
Glare Protection NO BLINDS - UNI EN 17037



Daylight Glare BLINDS - IES LM83



Glare Protection BLINDS - UNI EN 17037



## 6.4.3 RESIDENZA - ROMA

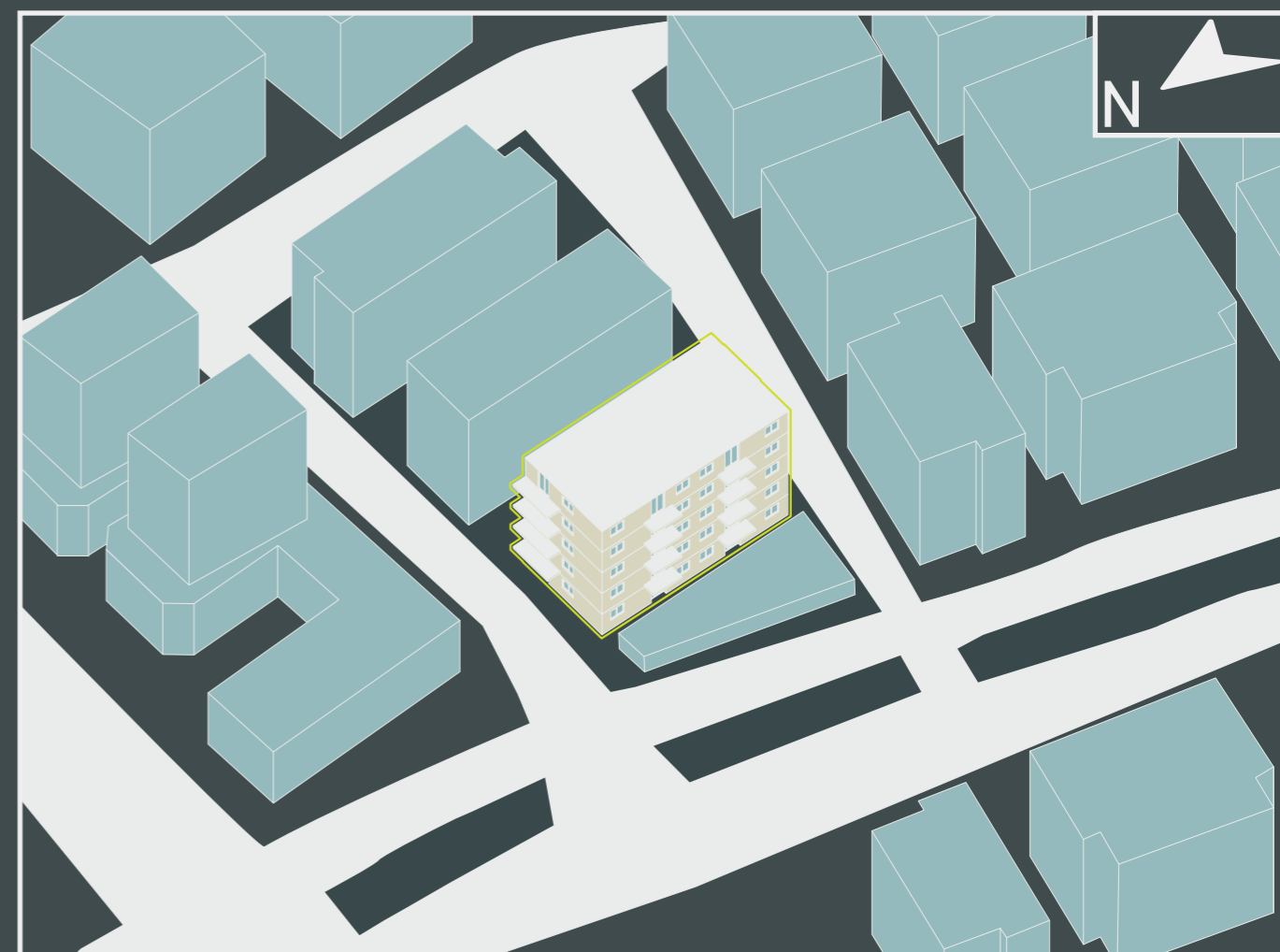
In Roma il requisito di DP raggiunge un valore minimo per quasi il 50% degli ambienti, con una concentrazione di casi positivi negli ambienti esposti a nord e ad ovest. Questo fatto è spiegato dalla presenza di ostruzioni di relativa prossimità alle facciate sud ed est, che ostruiscono l'ingresso della luce naturale e abbassano i valori di illuminamento in ambiente..

Nelle simulazioni senza sistema schermante i risultati aumentano leggermente arrivando ad una percentuale di livello minimo del 60%. L'assenza di tende si percepisce maggiormente nel numero di ambienti che raggiungono il livello medio.

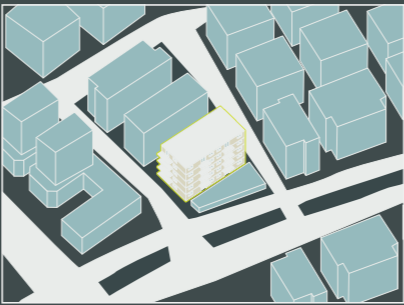
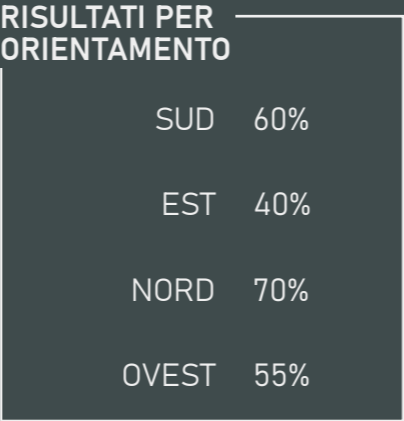
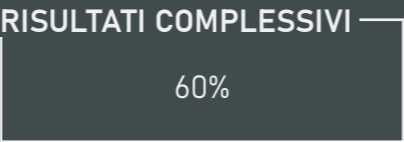
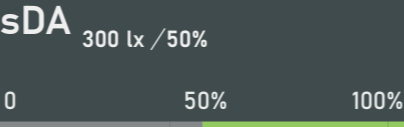
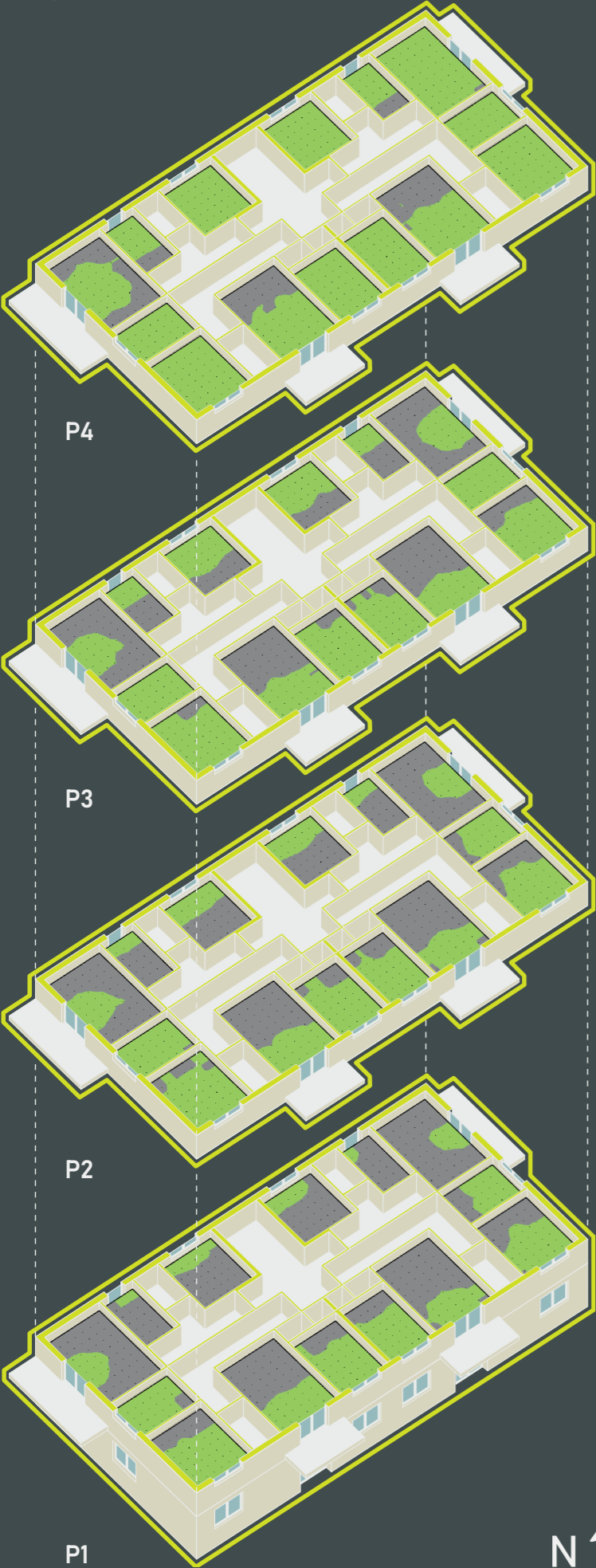
La simulazione di vista verso l'esterno si dimostra ampiamente dipendente dalla presenza delle ostruzioni esterne. Negli ambienti delle facciate sud ed est si raggiungono i livelli minimi, mentre a nord e ovest livelli più alti, ma nei punti degli ambienti più lontani dalla finestra il requisito rimane un livello minimo.

Il requisito della SE raggiunge il valore minimo per la maggior parte degli ambienti in esame, ad esclusione di quelli esposti a nord. Il raggiungimento del valore minimo di SE di una stanza per appartamento è ampiamente soddisfatto.

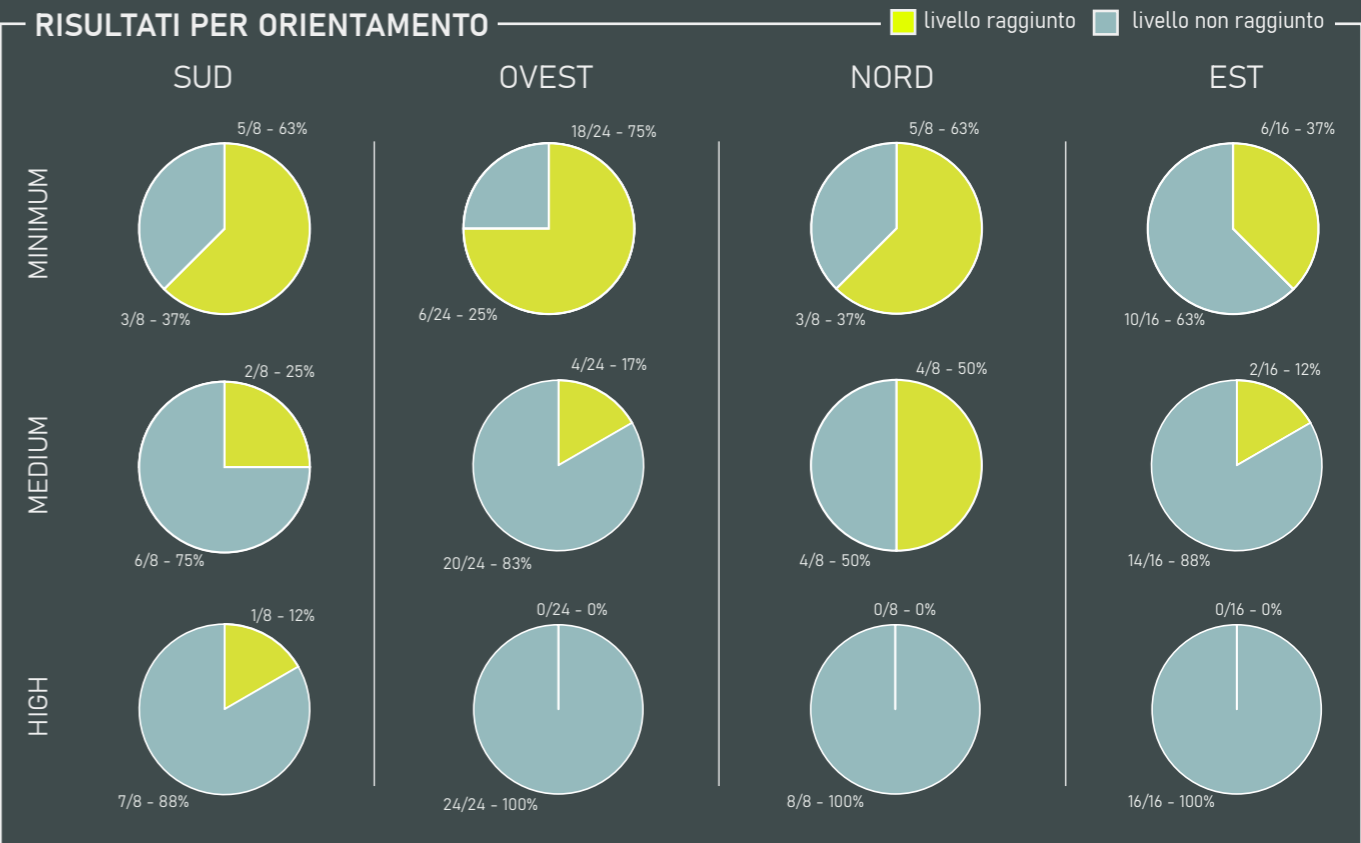
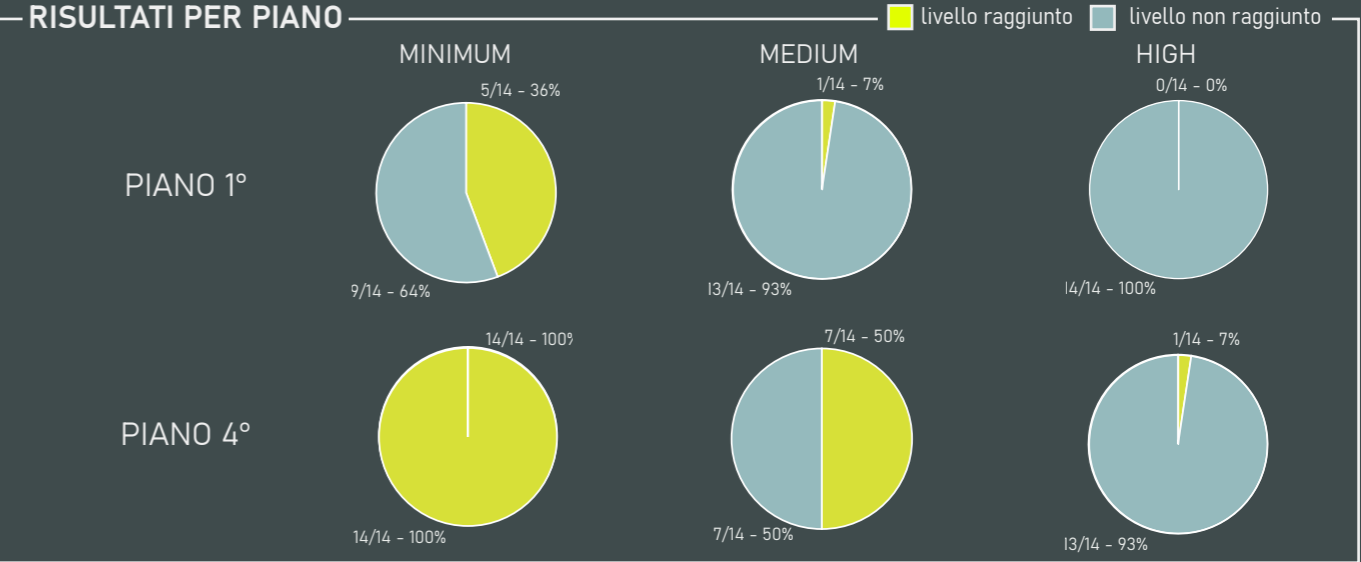
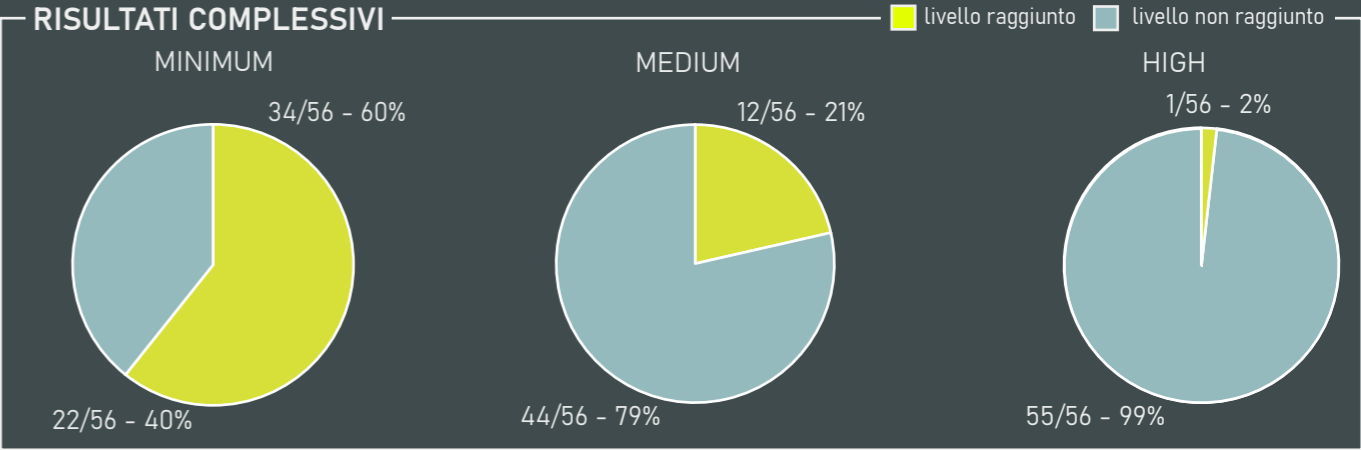
In questo caso la presenza della tenda influisce molto sul rischio di abbagliamento, che diminuisce notevolmente sia nella direzione di vista a 90° che in quella a 45°, abbassando notevolmente la probabilità di rimanere abbagliati dalla luce naturale.



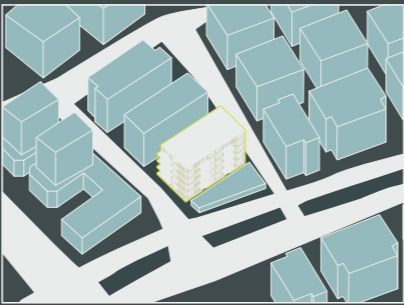
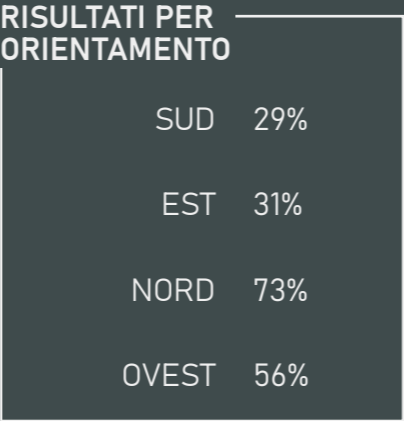
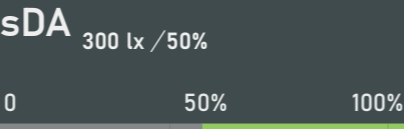
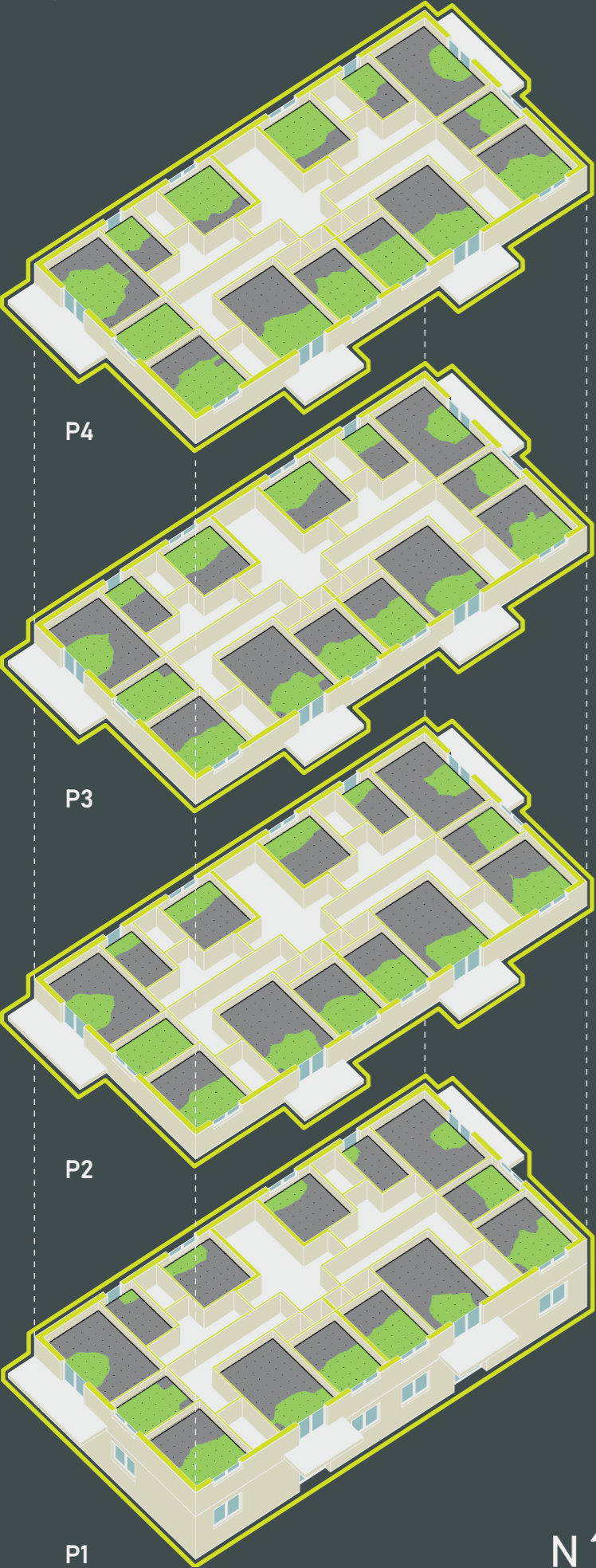
Daylight Provision NO BLINDS - IES LM83



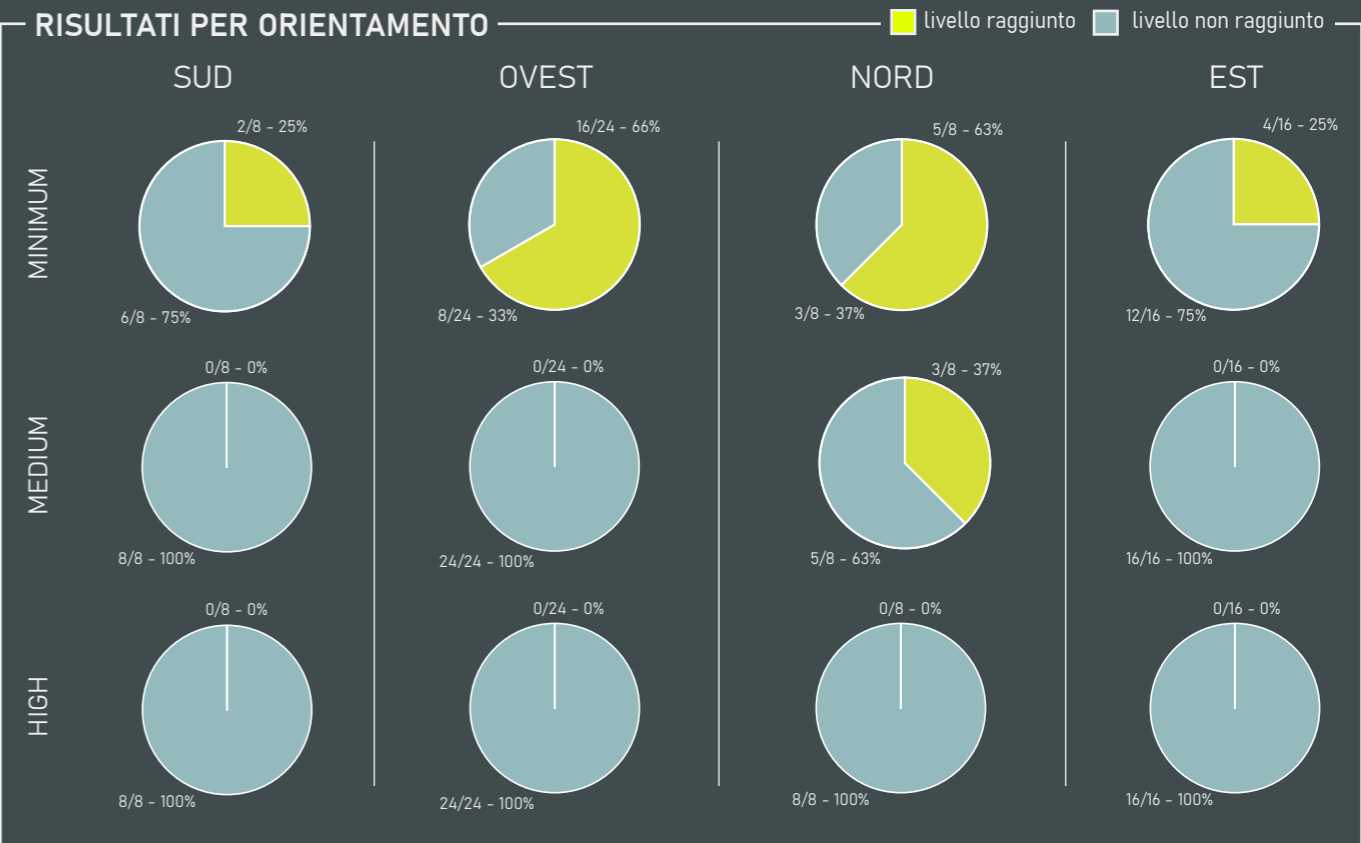
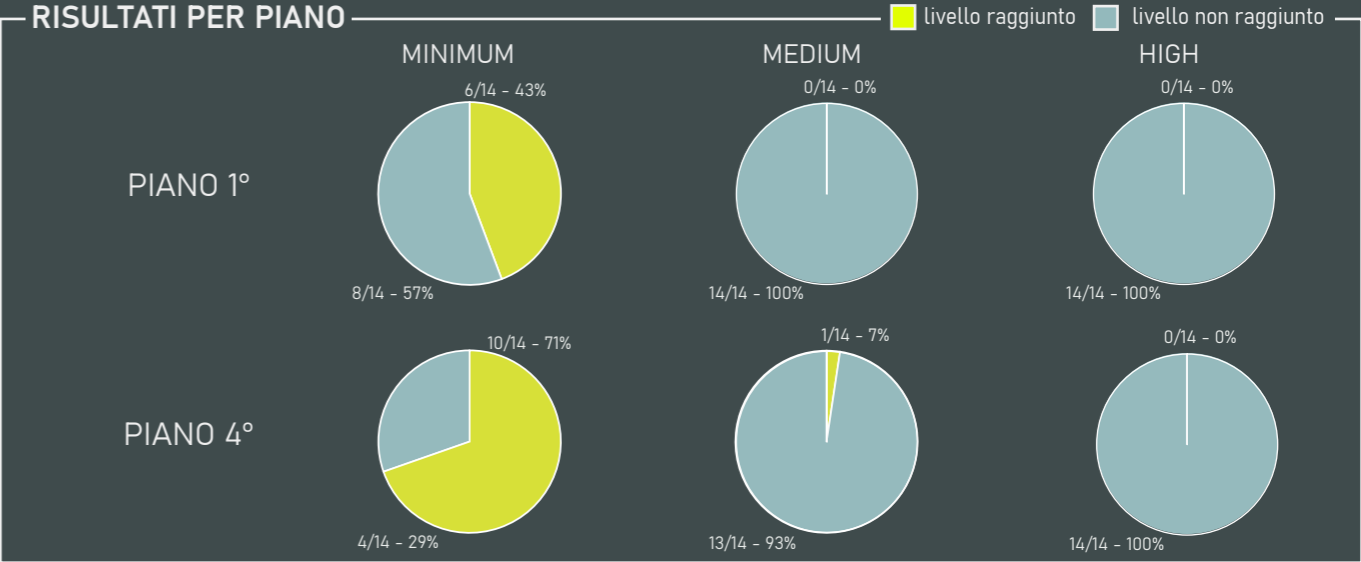
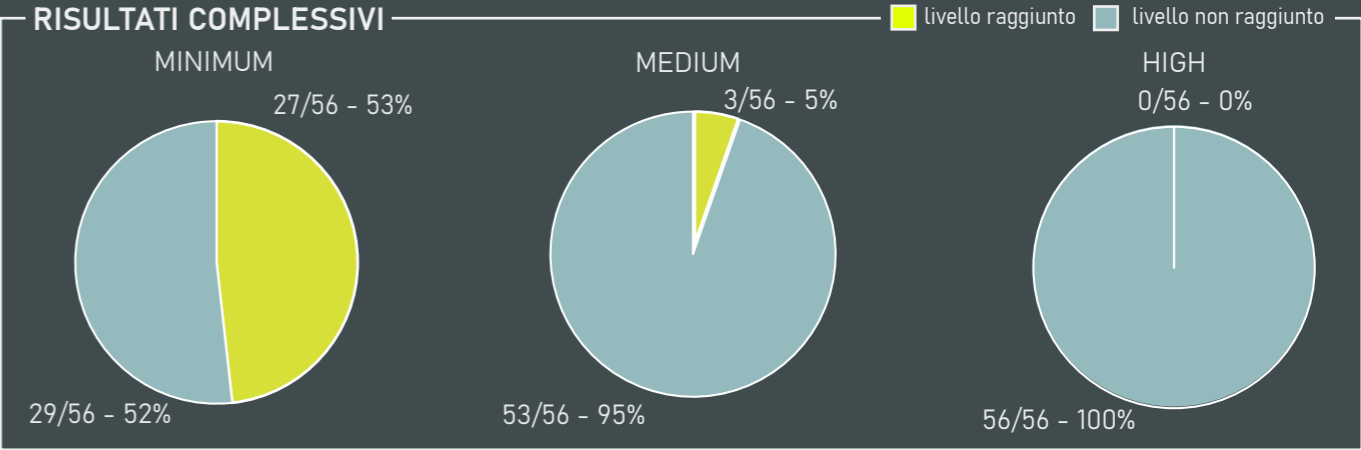
Daylight Provision NO BLINDS - UNI EN 17037



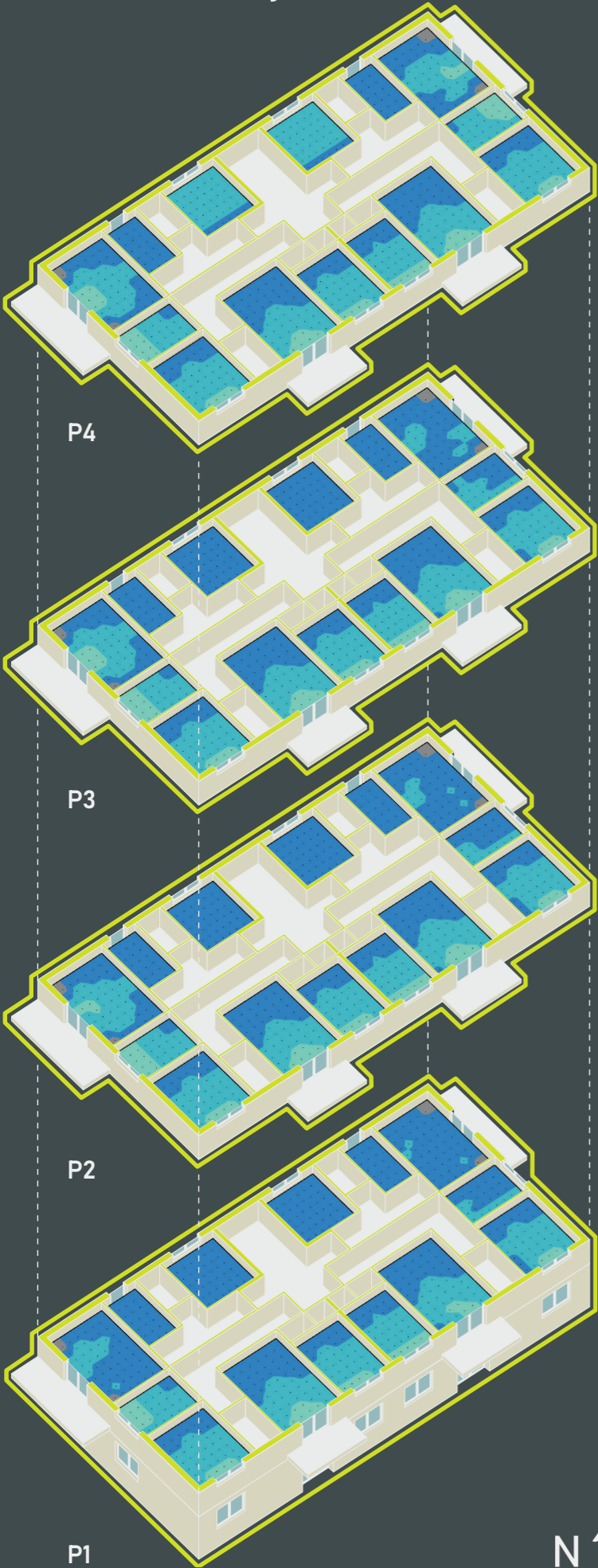
Daylight Provision BLINDS - IES LM83



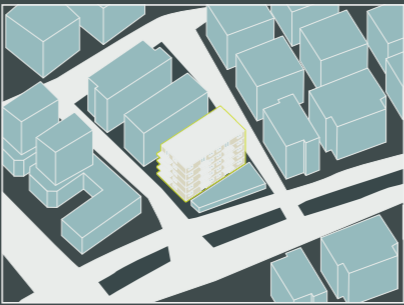
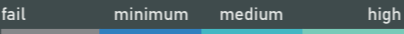
Daylight Provision BLINDS - UNI EN 17037



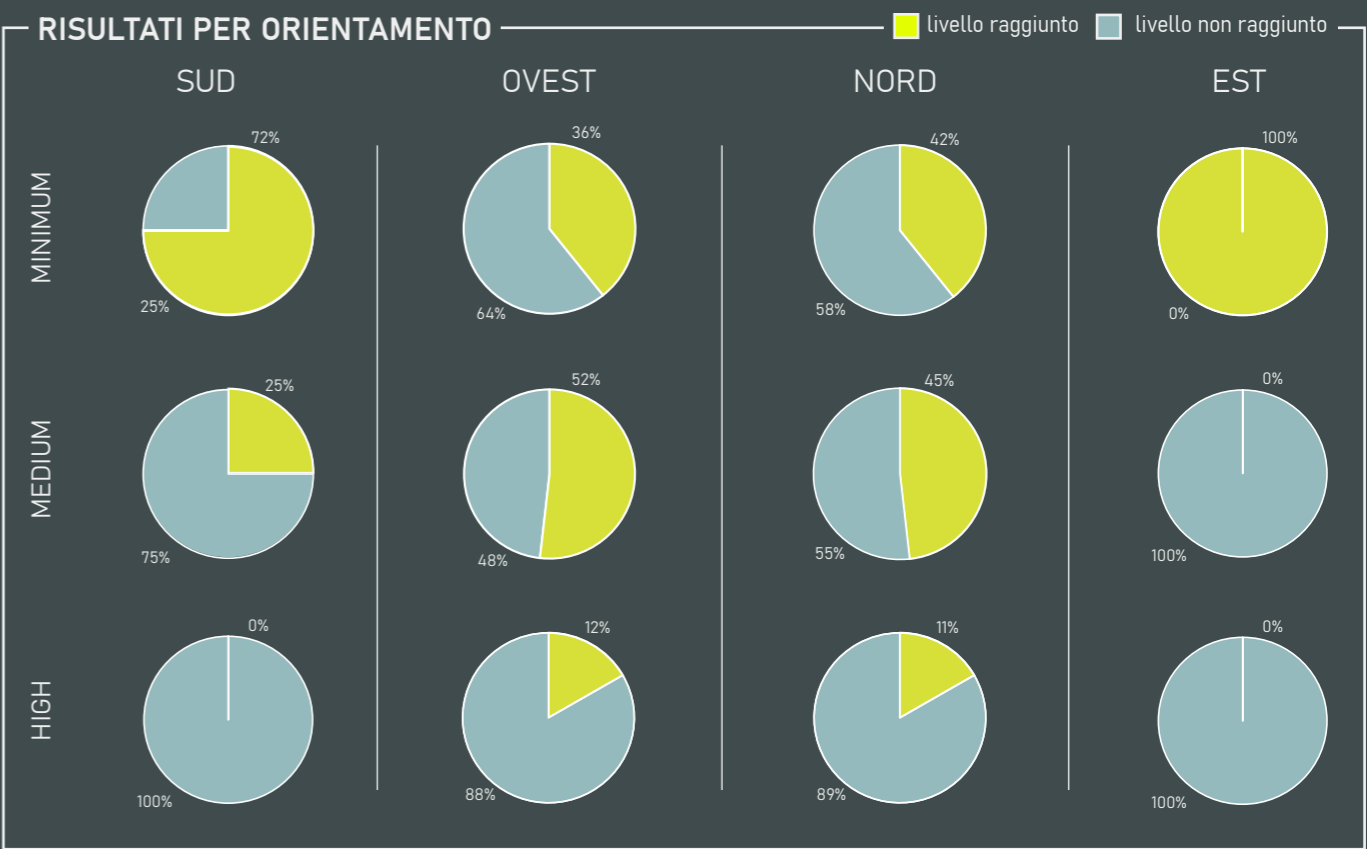
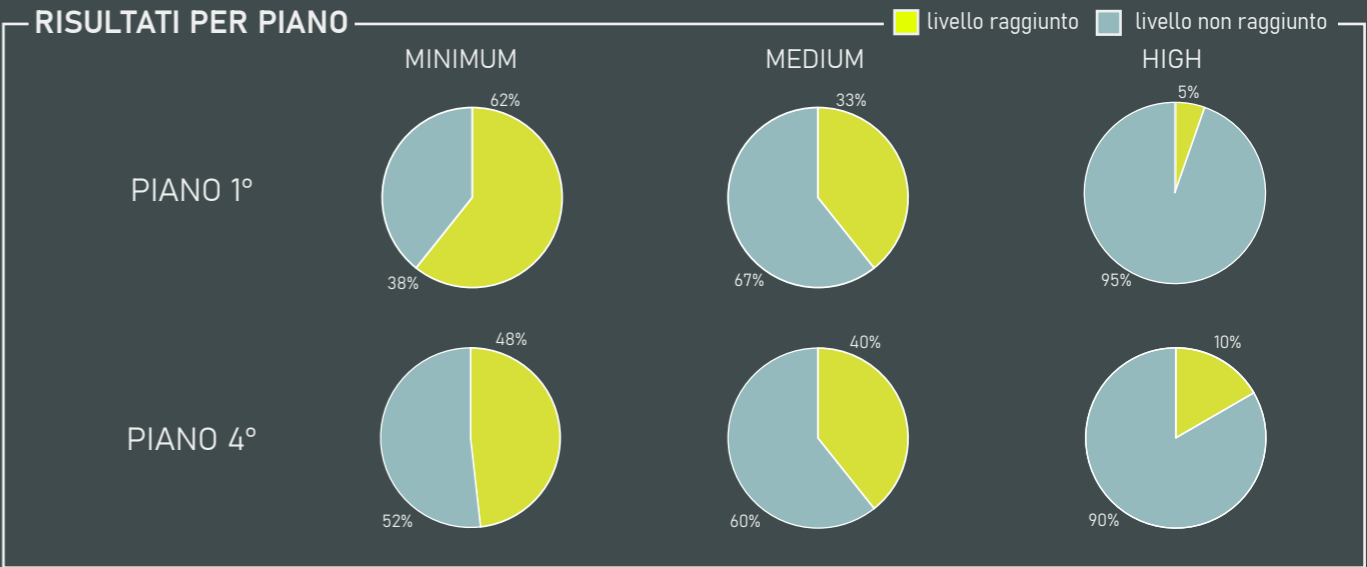
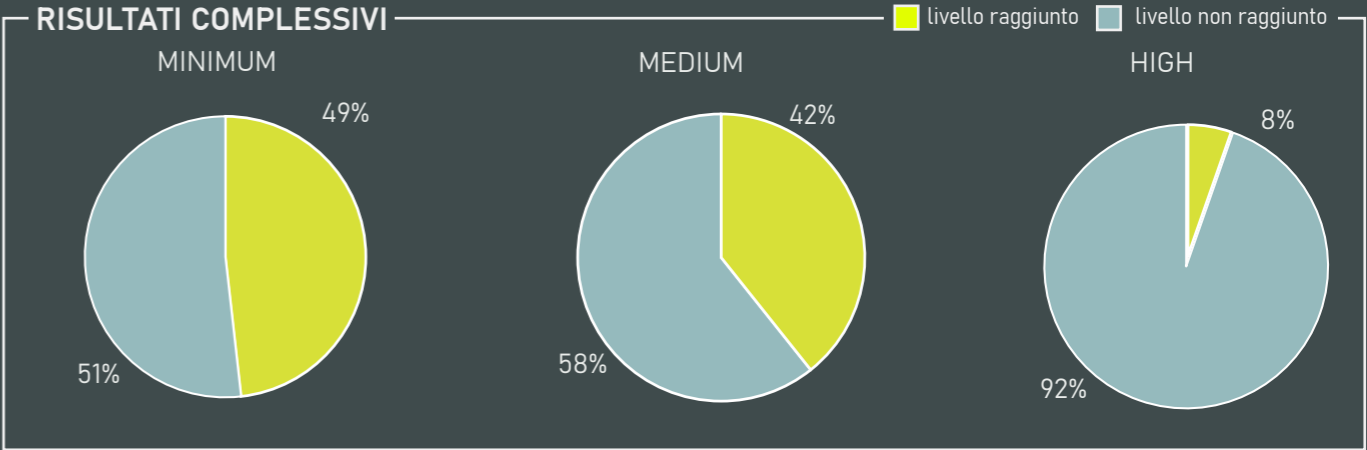
View Out Analysis - UNI EN 17037



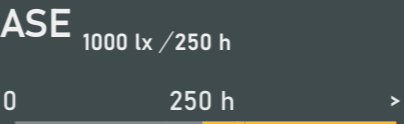
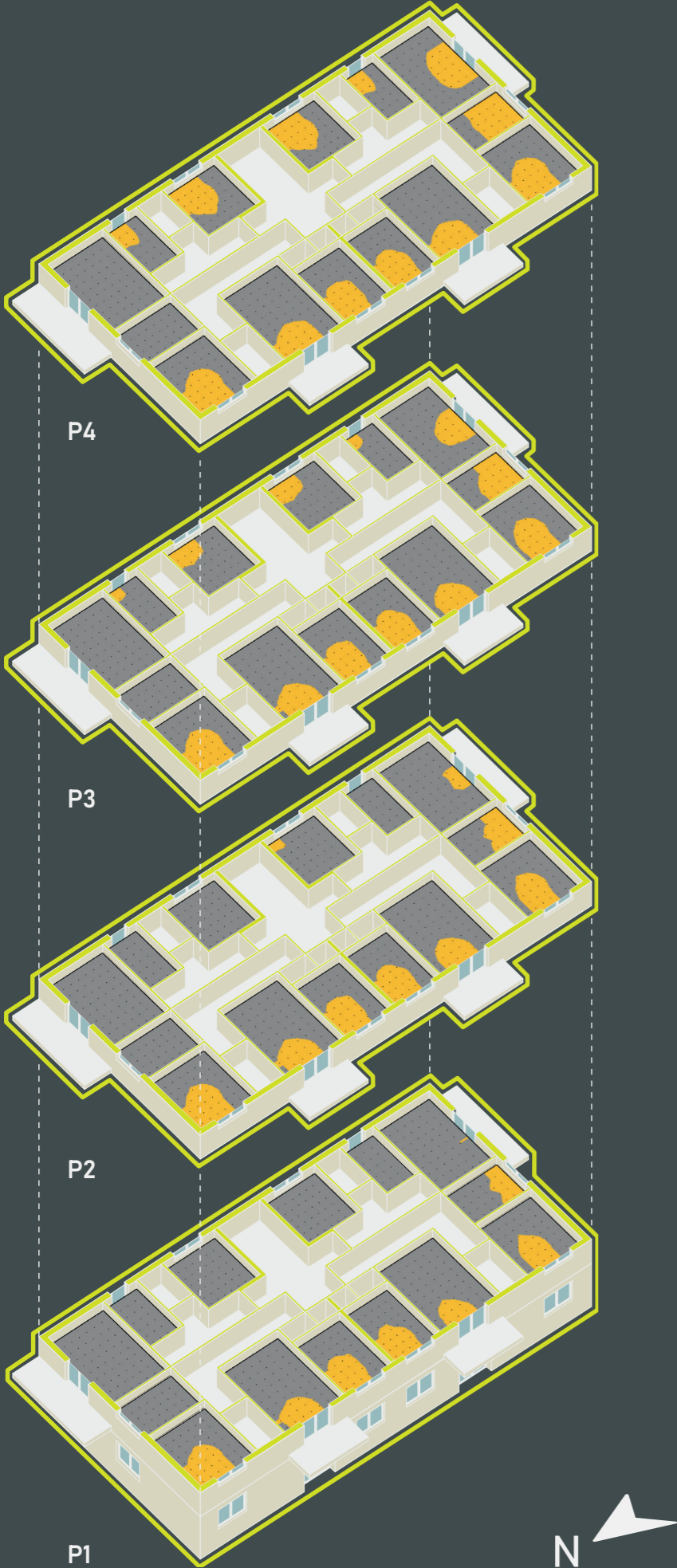
View Out Analysis



View Out Analysis - UNI EN 17037



Annual Sunlight Exposure - IES LM83



RISULTATI COMPLESSIVI

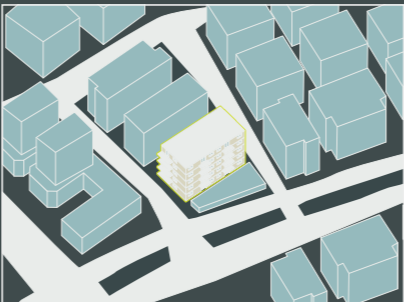
22%
-----

RISULTATI PER PIANO

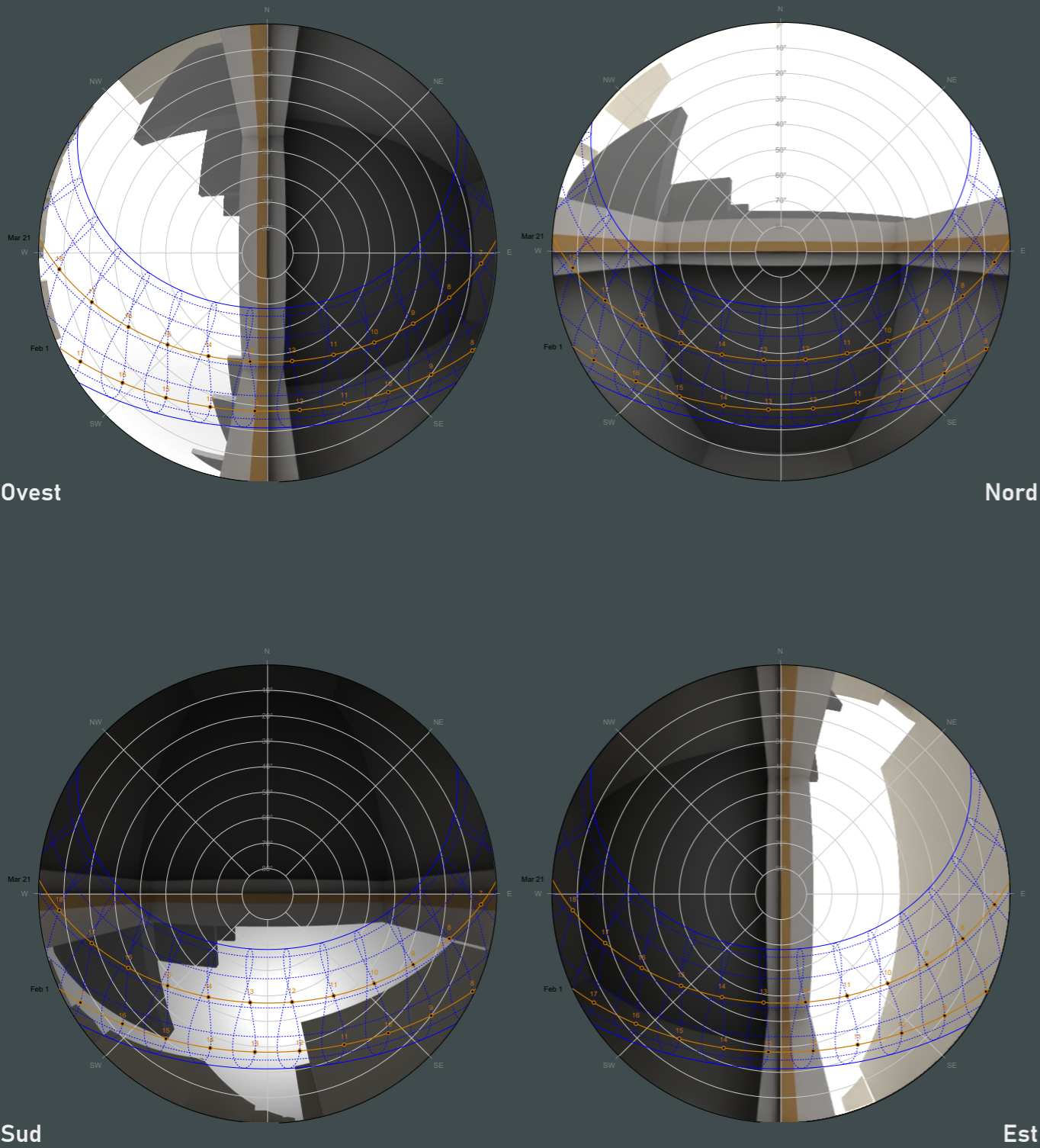
PIANO 1:	11%
PIANO 4:	25%

RISULTATI PER ORIENTAMENTO

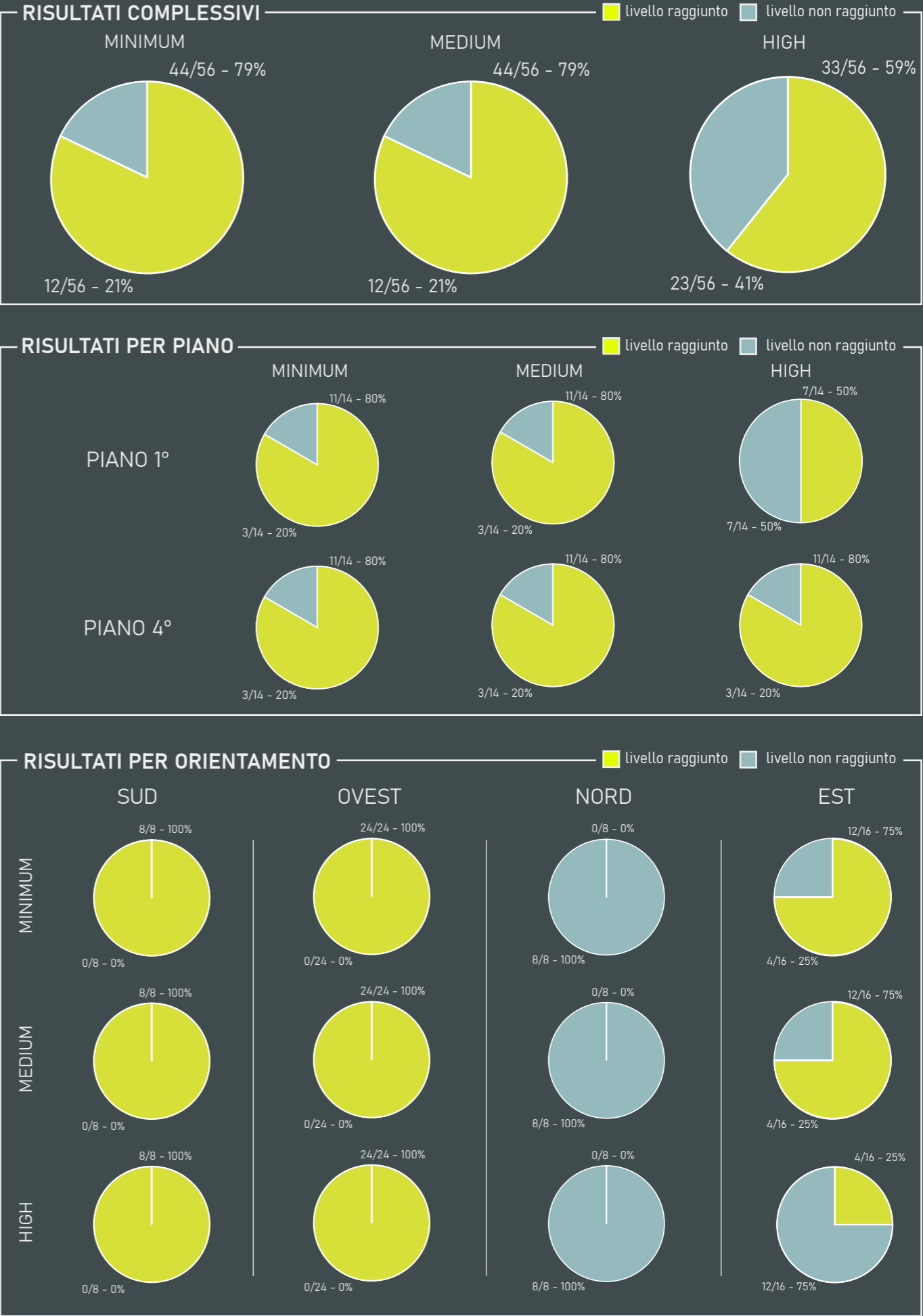
SUD	20%
EST	18%
NORD	0%
OVEST	31%



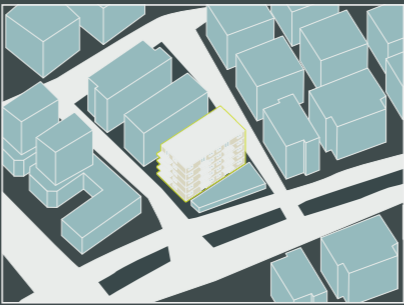
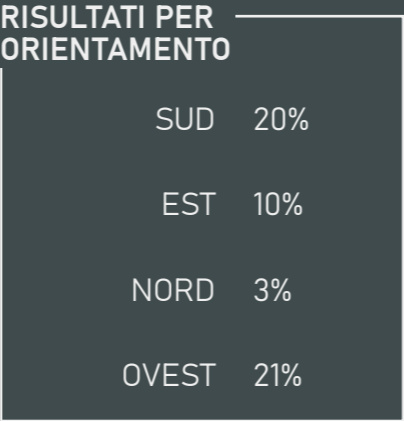
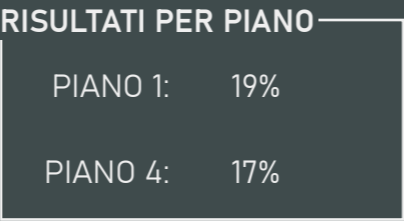
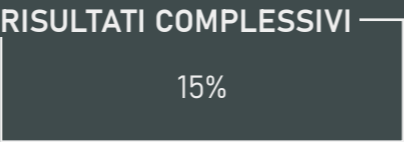
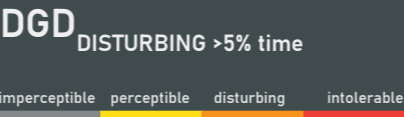
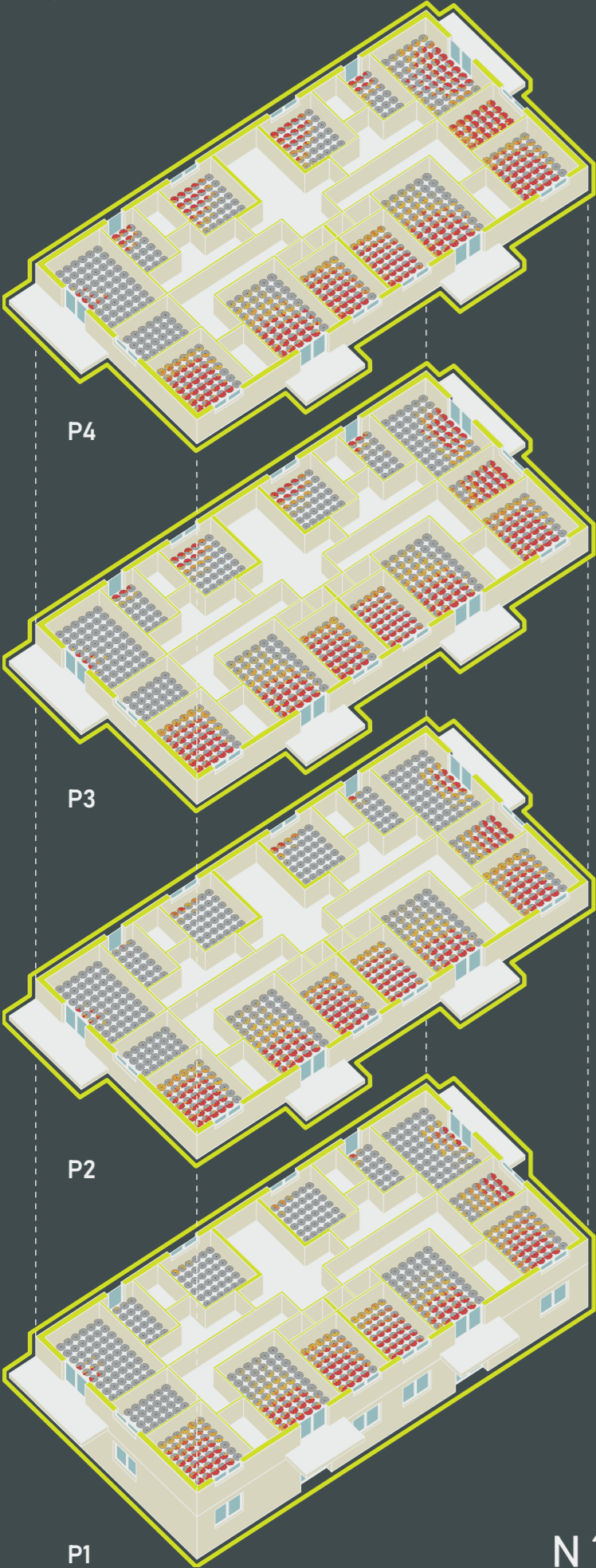
Sunlight Expoure - UNI EN 17037



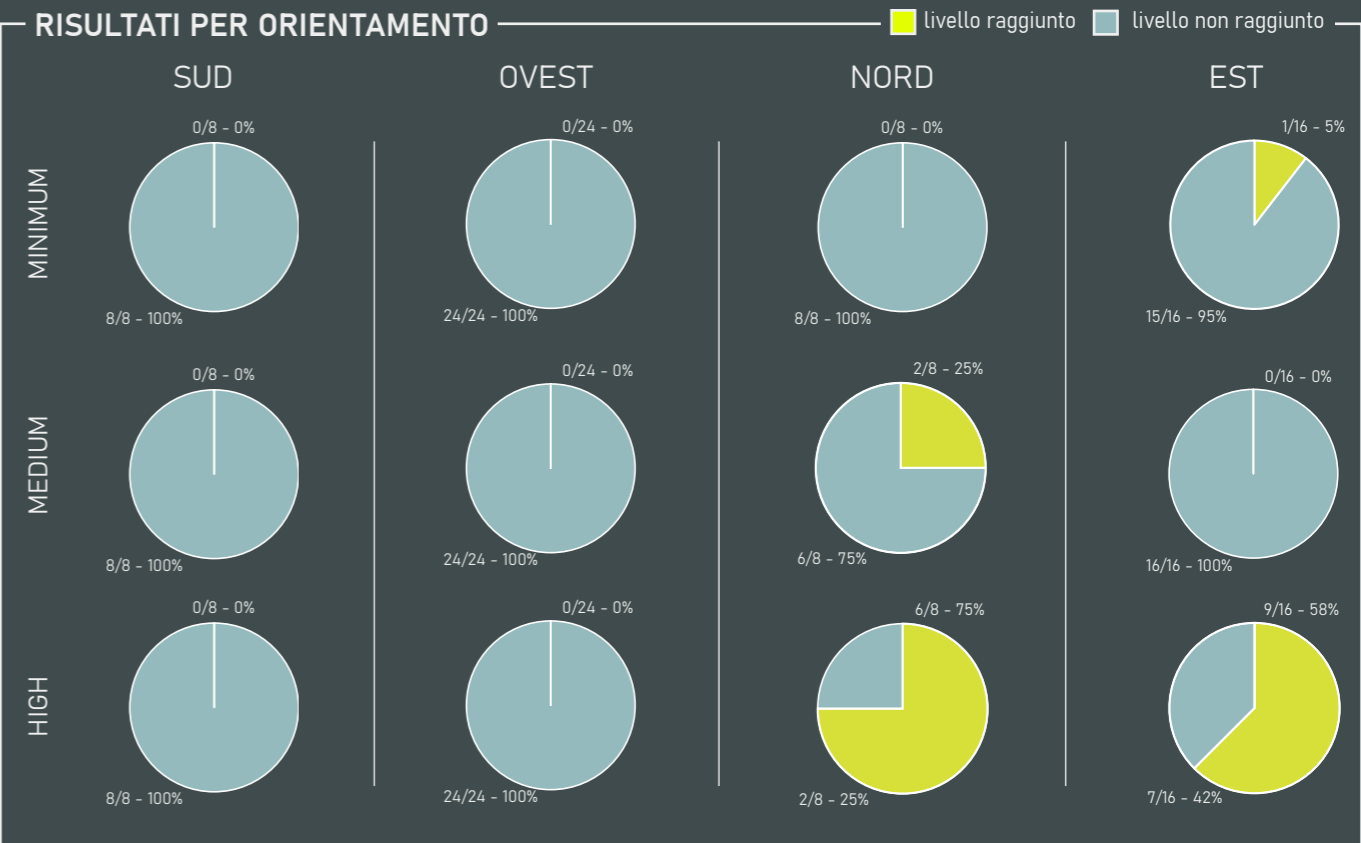
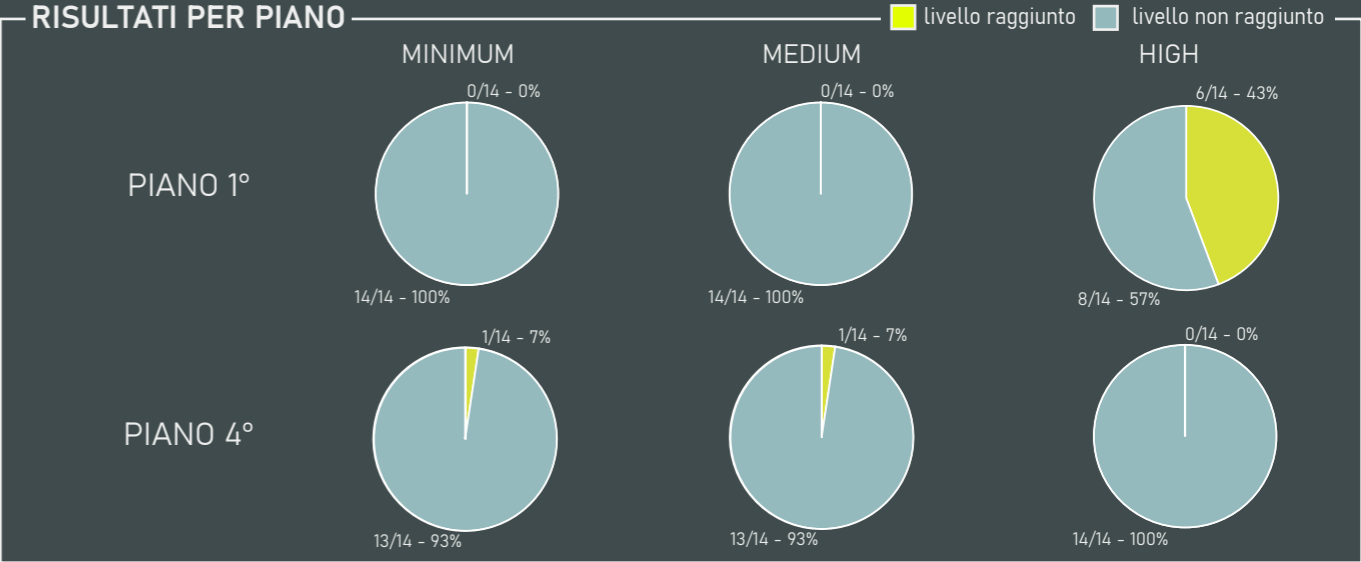
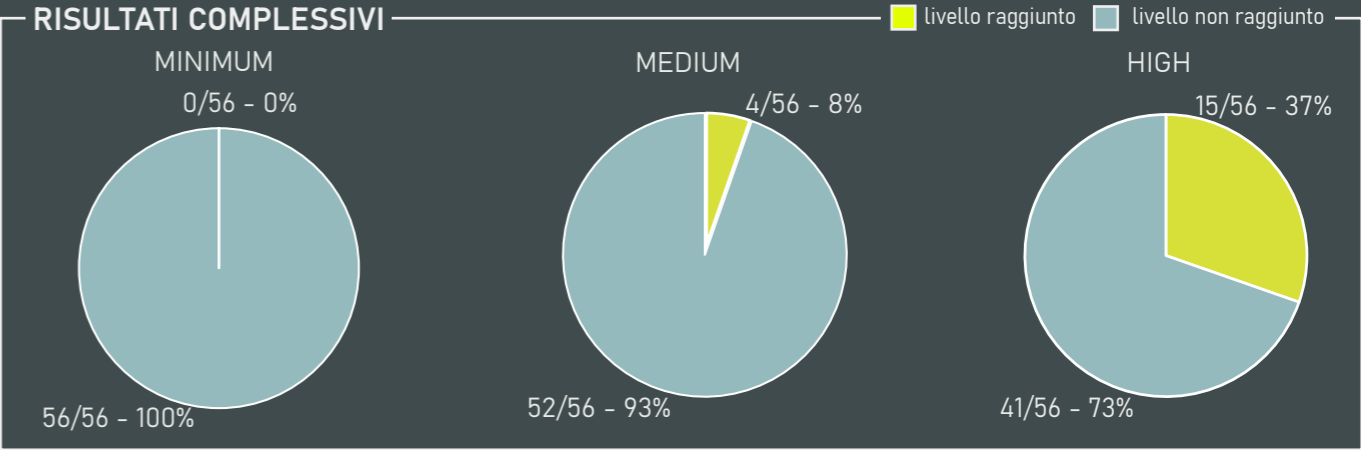
Sunlight Expoure - UNI EN 17037



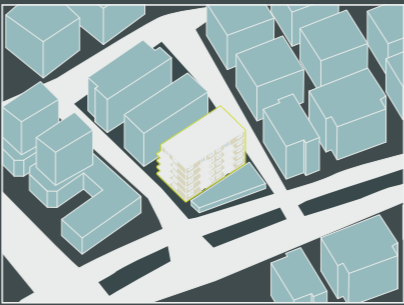
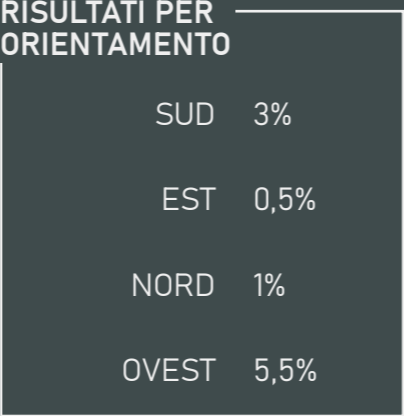
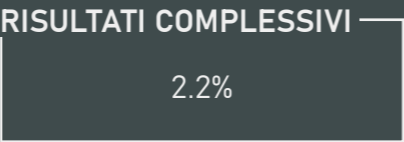
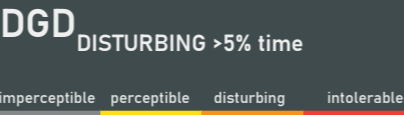
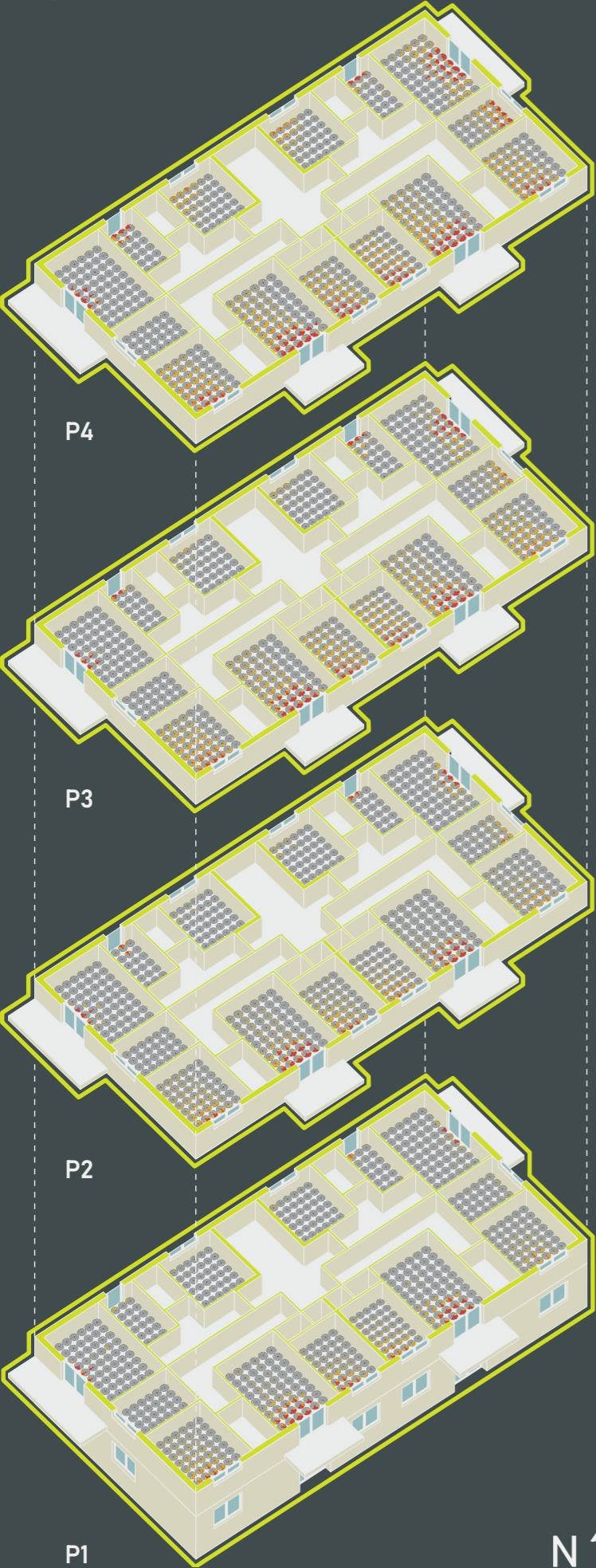
Daylight Glare NO BLINDS - IES LM83



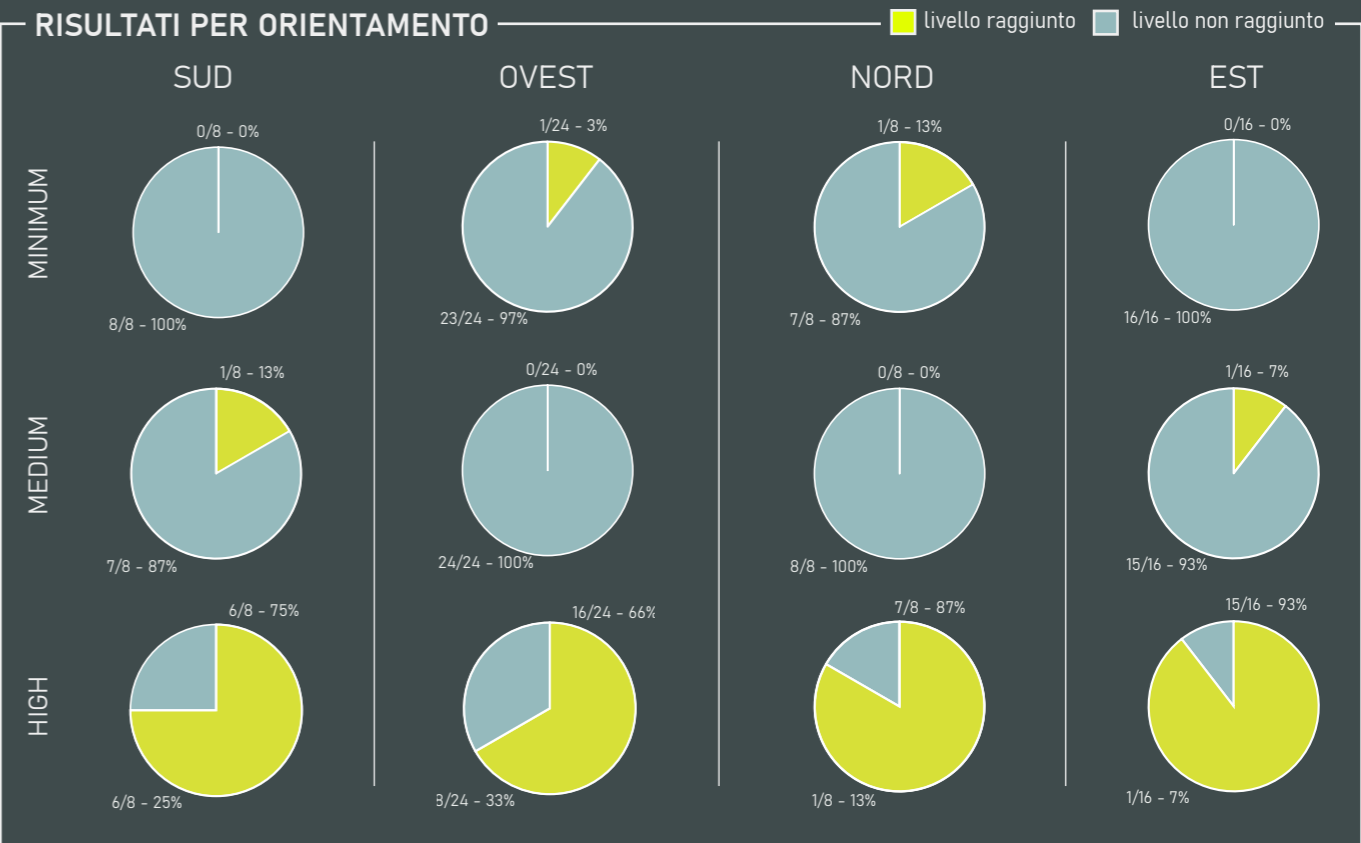
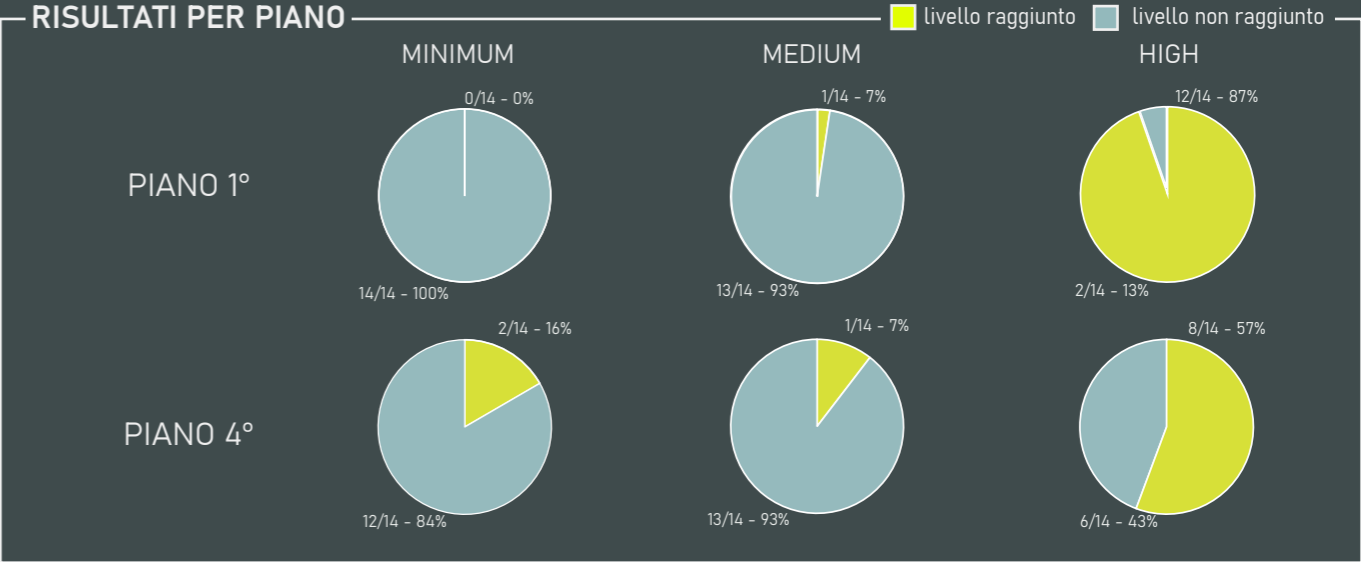
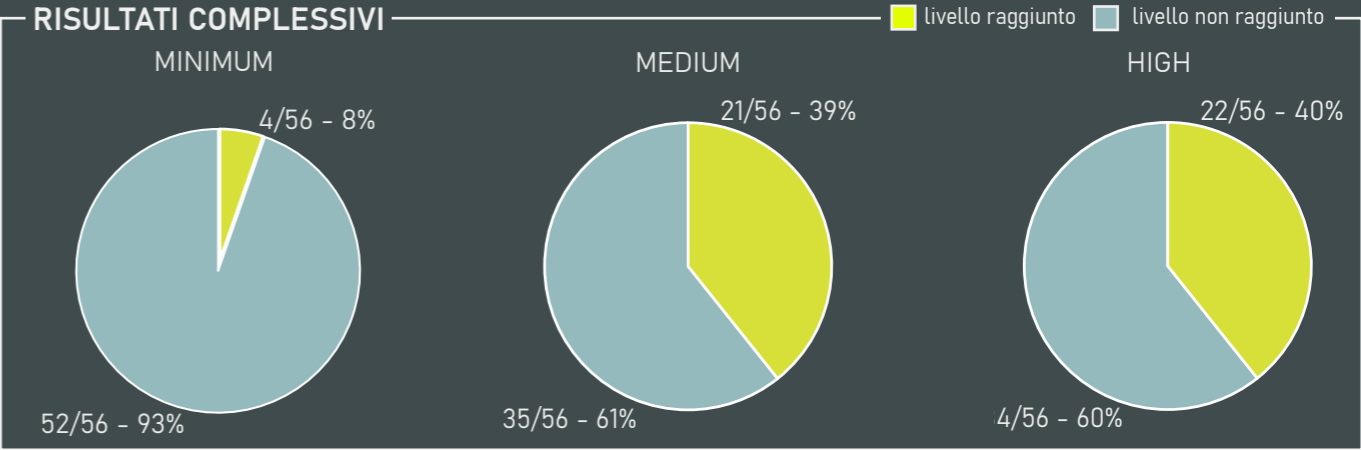
Glare Protection NO BLINDS- UNI EN 17037



Daylight Glare BLINDS - IES LM83



Glare Protection BLINDS - UNI EN 17037



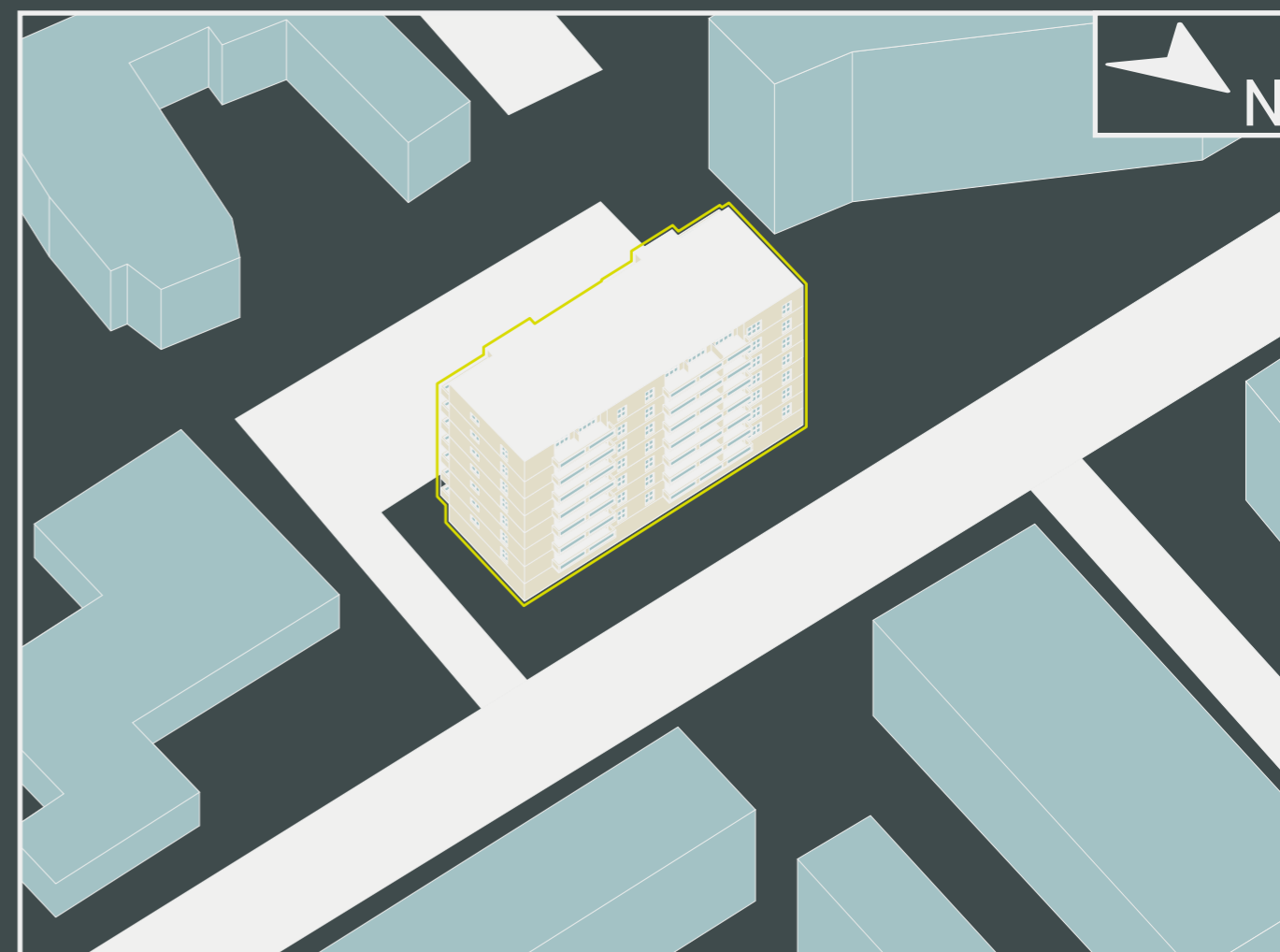
## 6.4.4 RESIDENZA - PALERMO

A Palermo il requisito di DP non viene rispettato nella maggior parte degli ambienti in cui è stata svolta una simulazione con tende. Solo in 11 ambienti su 105 viene raggiunto il livello minimo. La simulazione senza sistema schermante presenta un numero maggiore di ambienti in cui è raggiunto il livello minimo, esattamente 29, con un significativo aumento nei piani più alti.

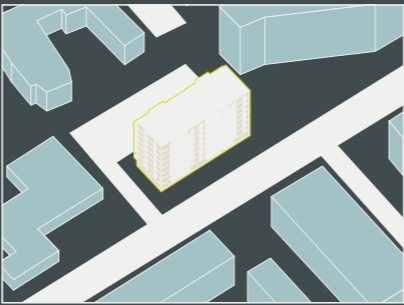
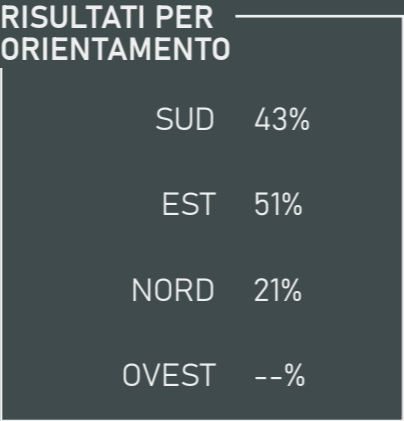
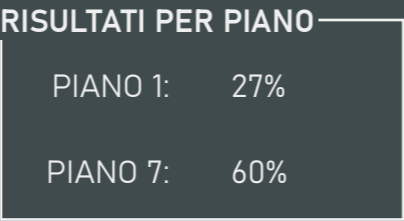
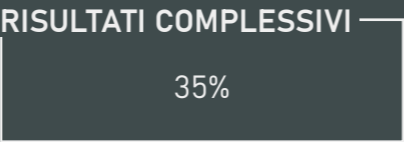
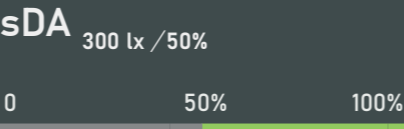
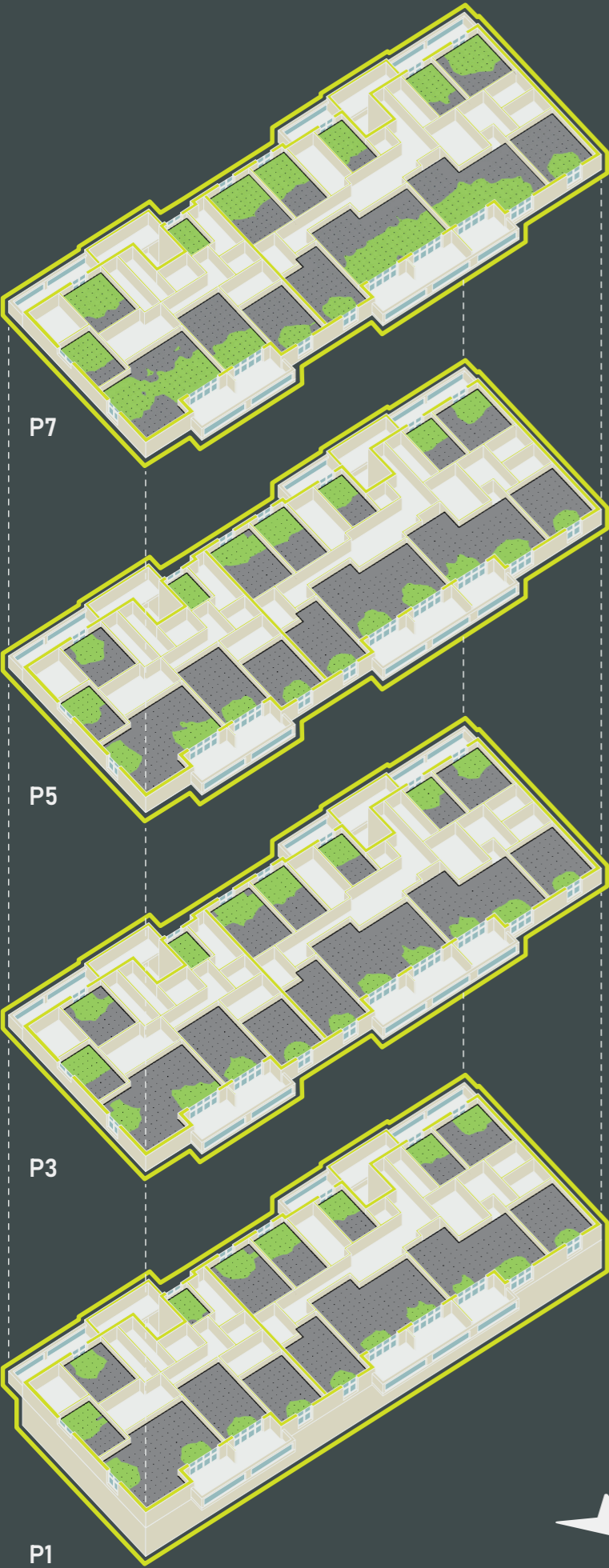
La View Out Analysis presenta maggior risultato di *"fail"* nei punti più profondi degli ambienti. La dimensione di questi infatti è tale da abbassare i livelli complessivi raggiunti dalla simulazione.

Il requisito relativo all'apporto di luce solare diretta è superato, sono raggiunti i livelli raccomandati per almeno una stanza per appartamento. Anche in questo caso la dipendenza dall'orientamento è cruciale per il raggiungimento dei risultati.

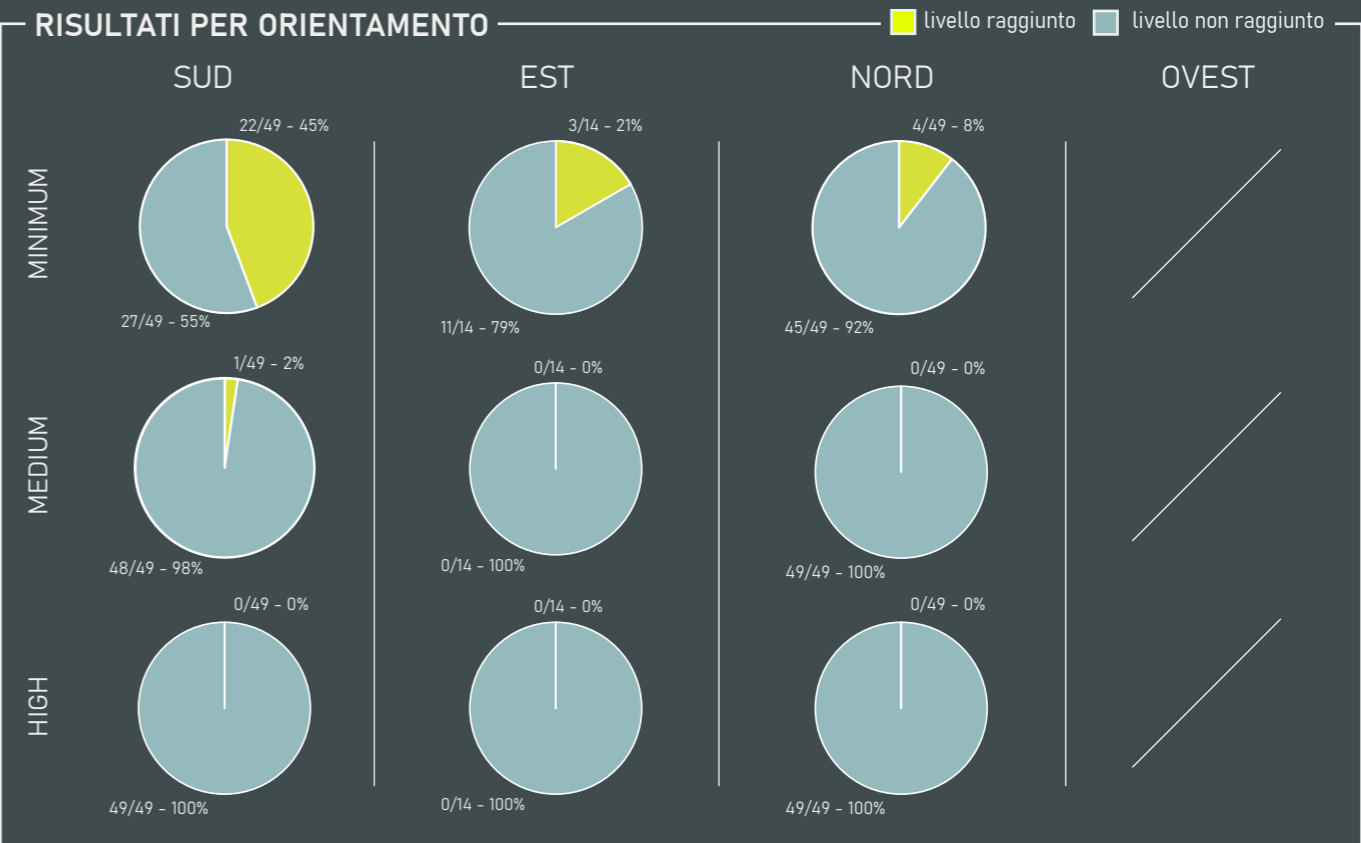
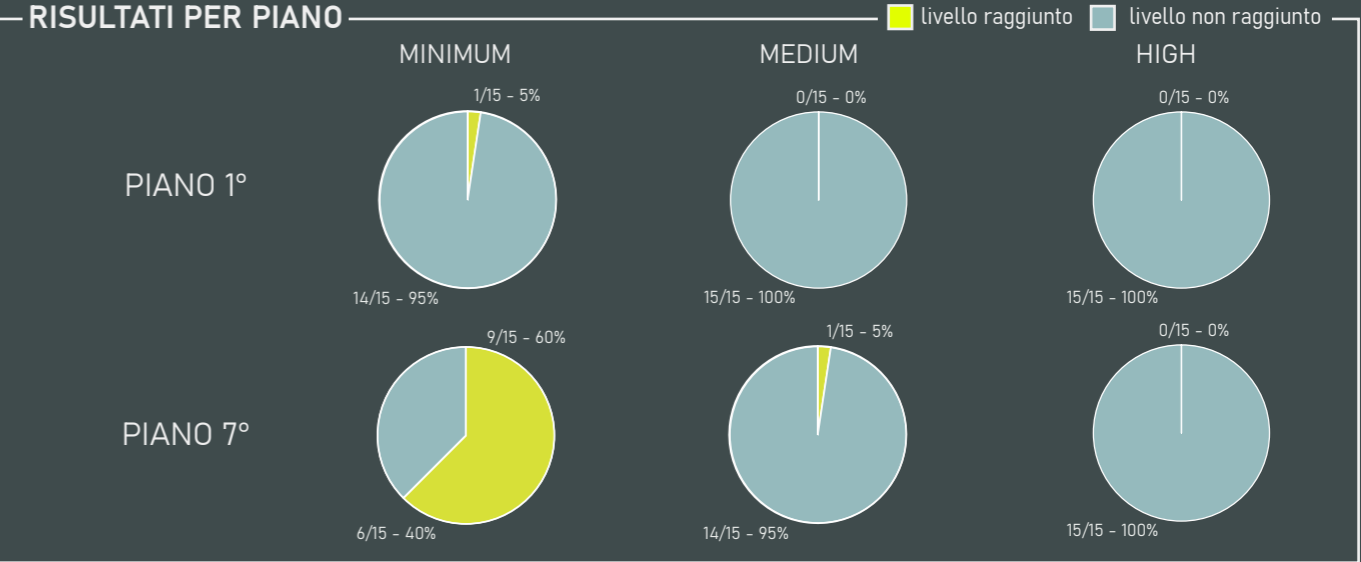
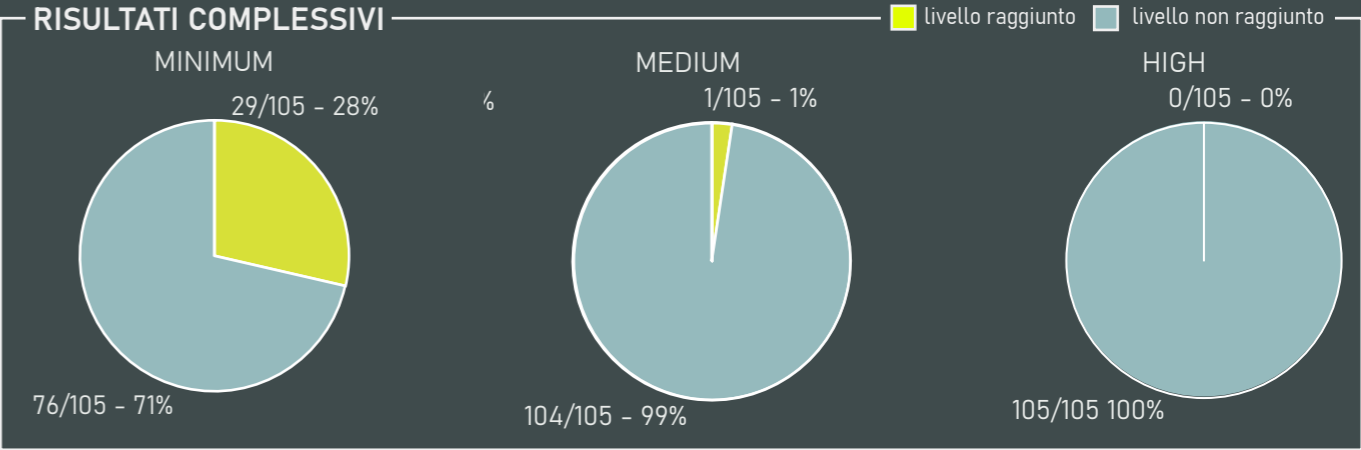
L'elevato rischio di abbagliamento rilevato nella simulazione senza sistemi schermanti negli ambienti orientati a sud ed est, viene risolto con l'aggiunta degli stessi, ottenendo livelli di DGP tollerabile nella quasi totalità degli ambienti.



Daylight Provision NO BLINDS - IES LM83



Daylight Provision NO BLINDS - UNI EN 17037



An aerial photograph of a city block. A central building is highlighted with a yellow border. The surrounding area includes other buildings, streets, and green spaces.

**RISULTATI COMPLESSIVI**

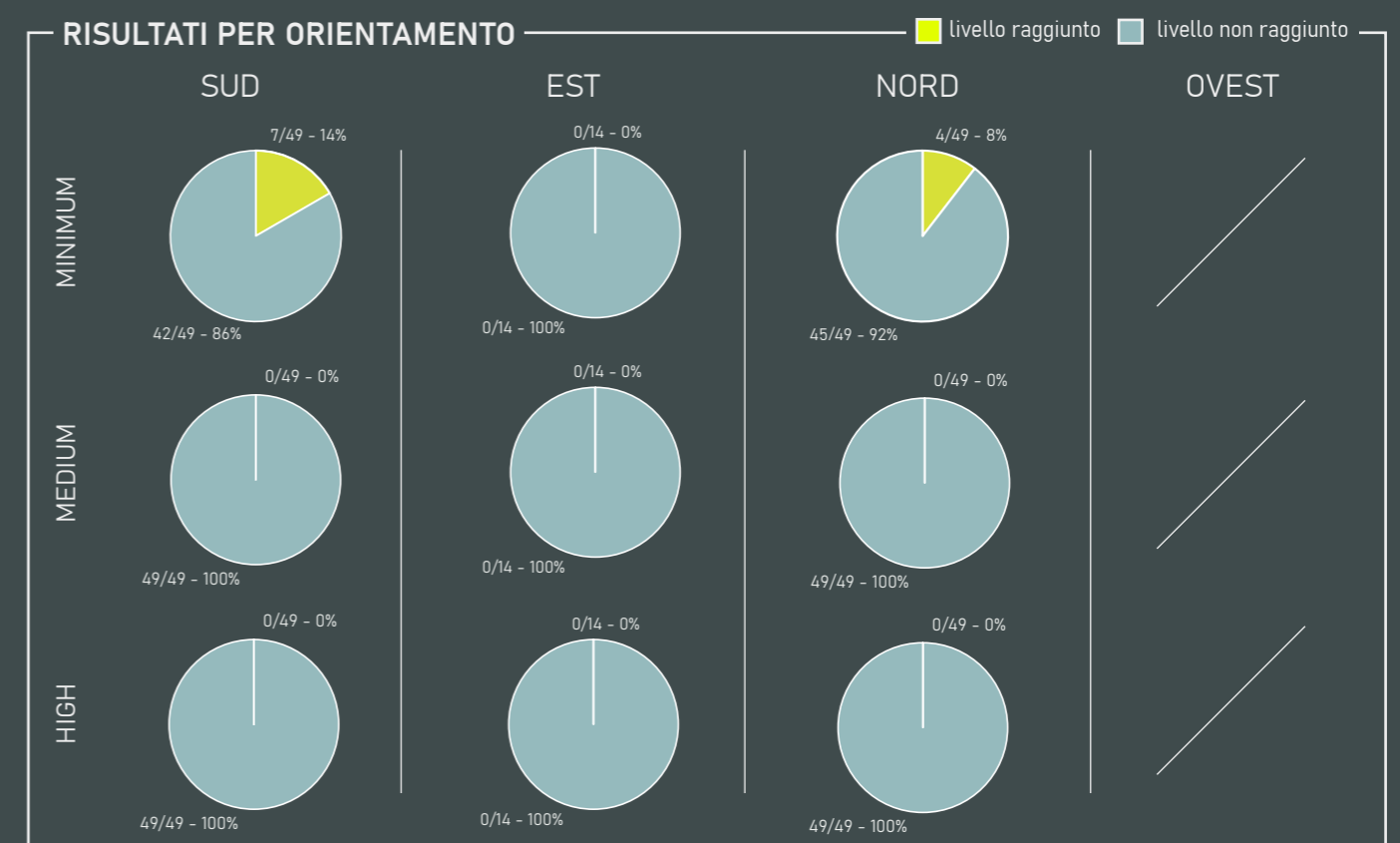
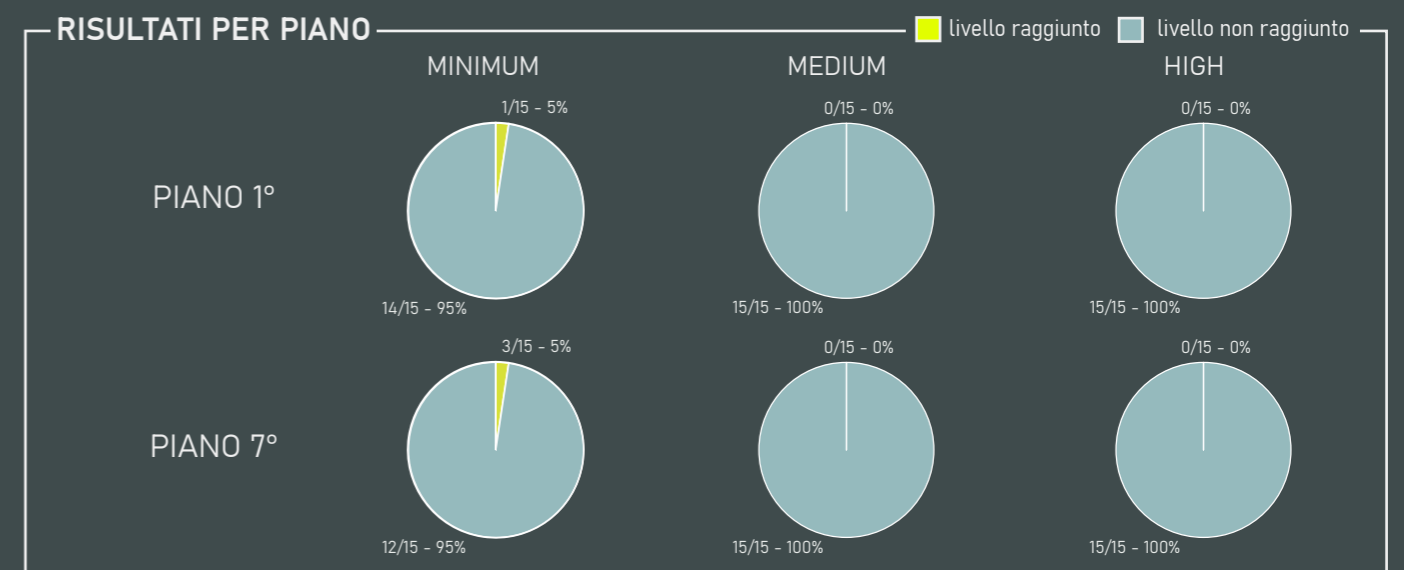
MINIMUM 11/105 - 10%

MEDIUM 0/105 - 0%

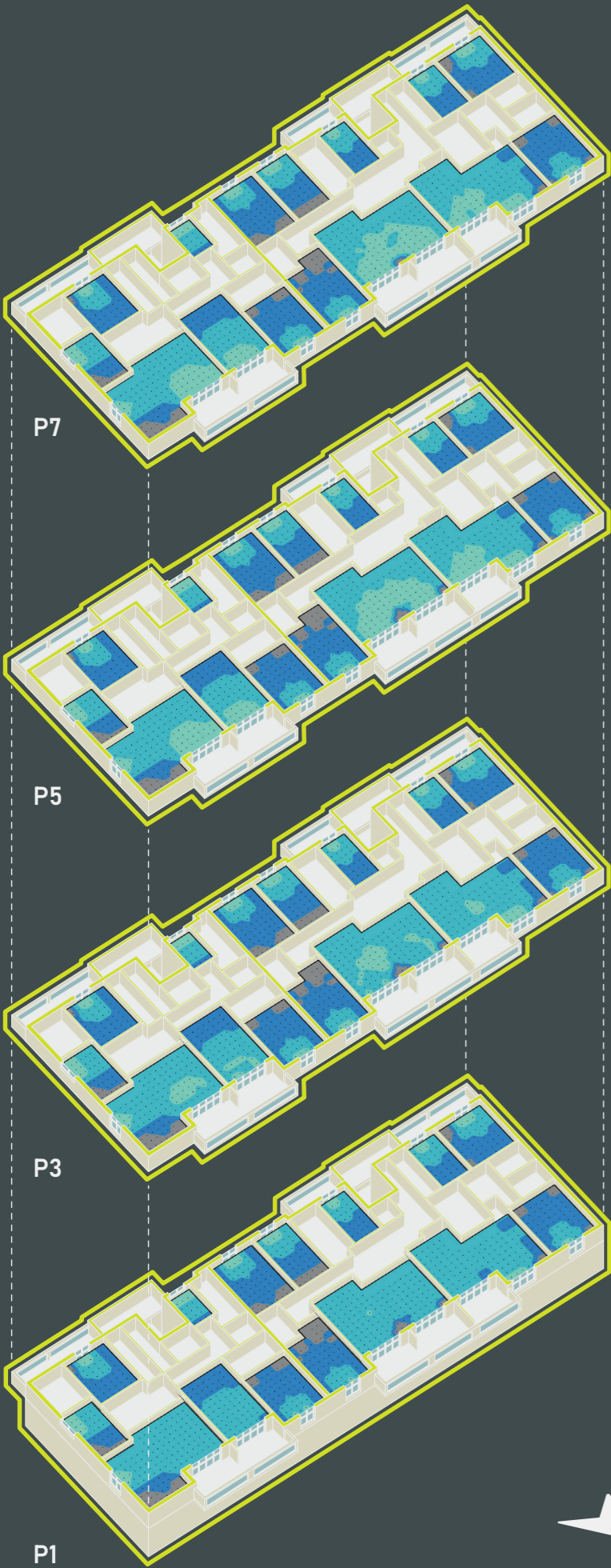
HIGH 0/105 - 0%

livello raggiunto (yellow square)    livello non raggiunto (light blue square)

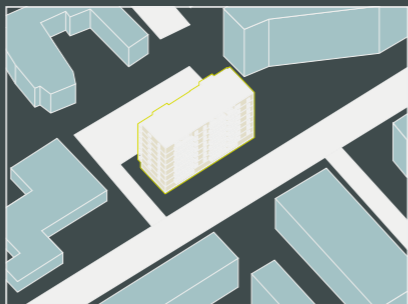
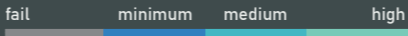
Level	Reached (Count/Total - %)	Not Reached (Count/Total - %)
MINIMUM	11/105 - 10%	94/105 - 90%
MEDIUM	0/105 - 0%	105/105 - 100%
HIGH	0/105 - 0%	105/105 - 100%



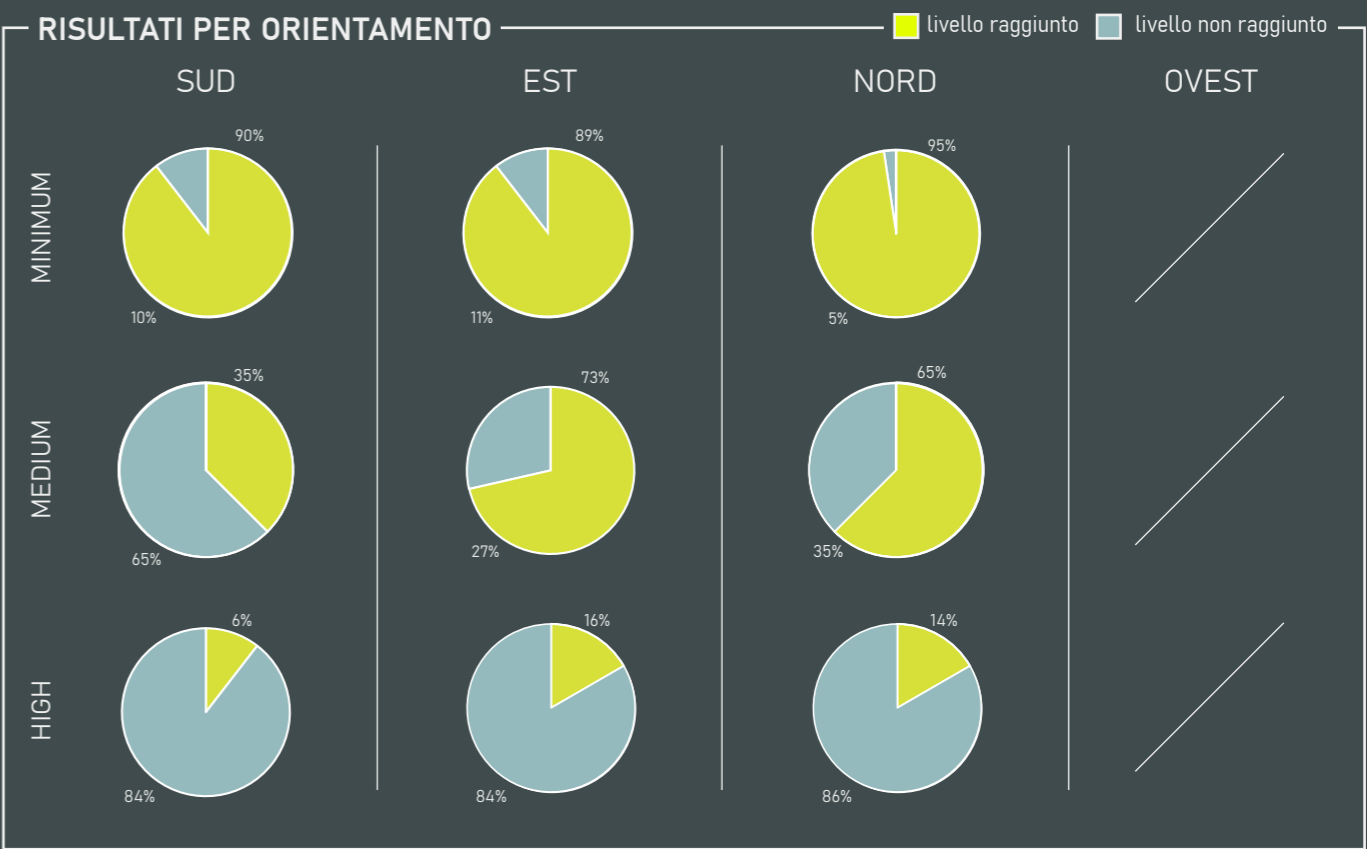
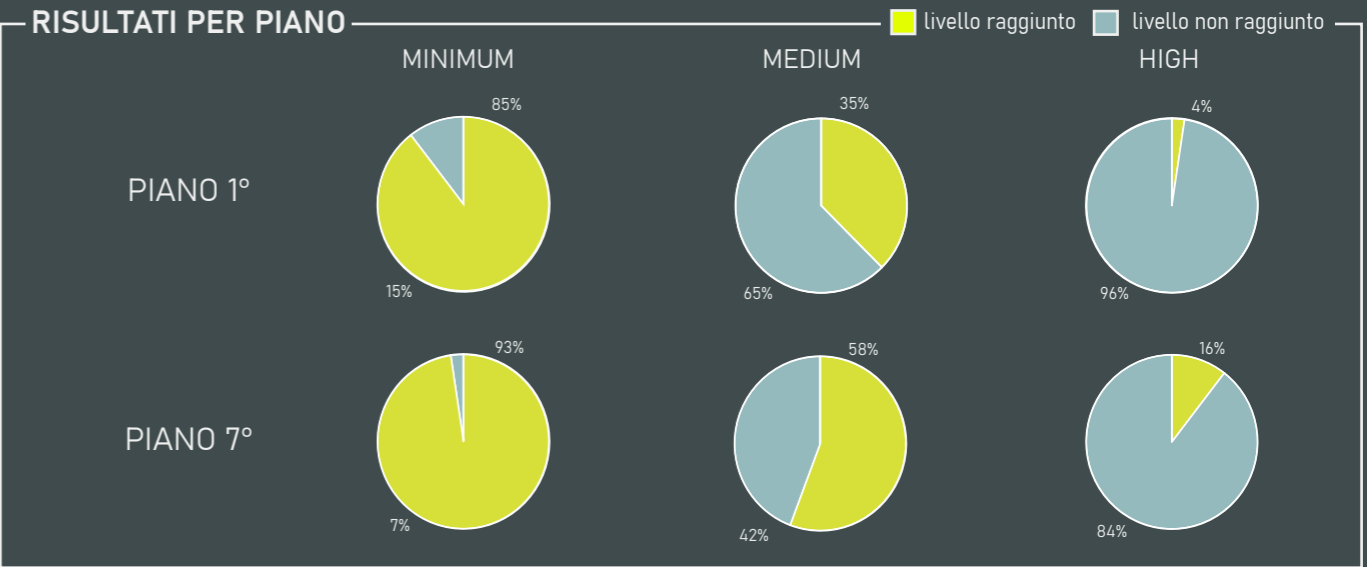
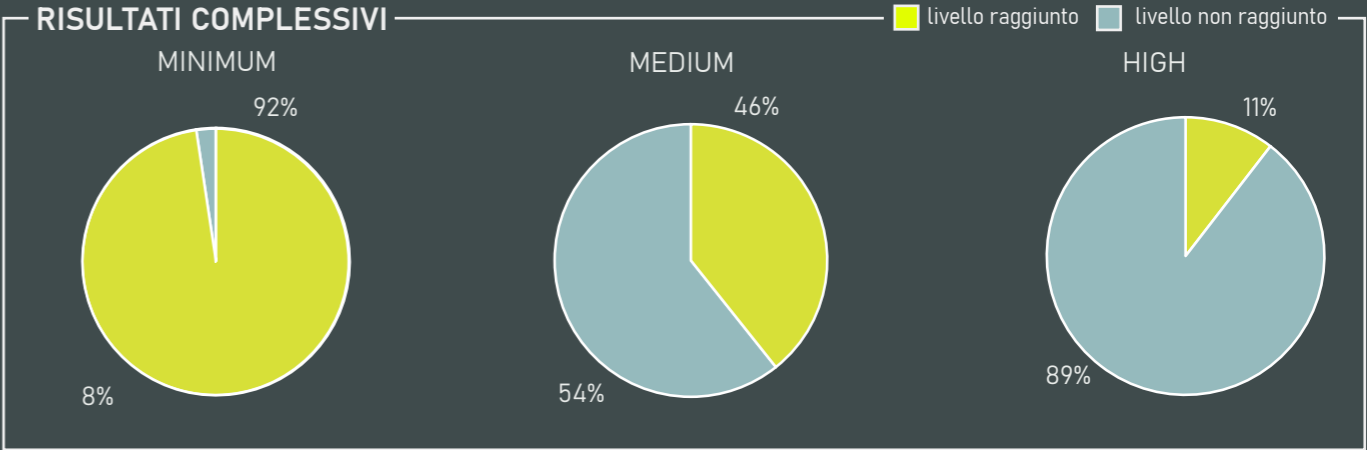
View Out Analysis - UNI EN 17037



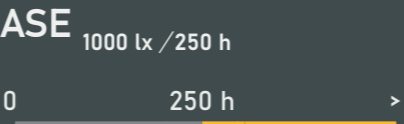
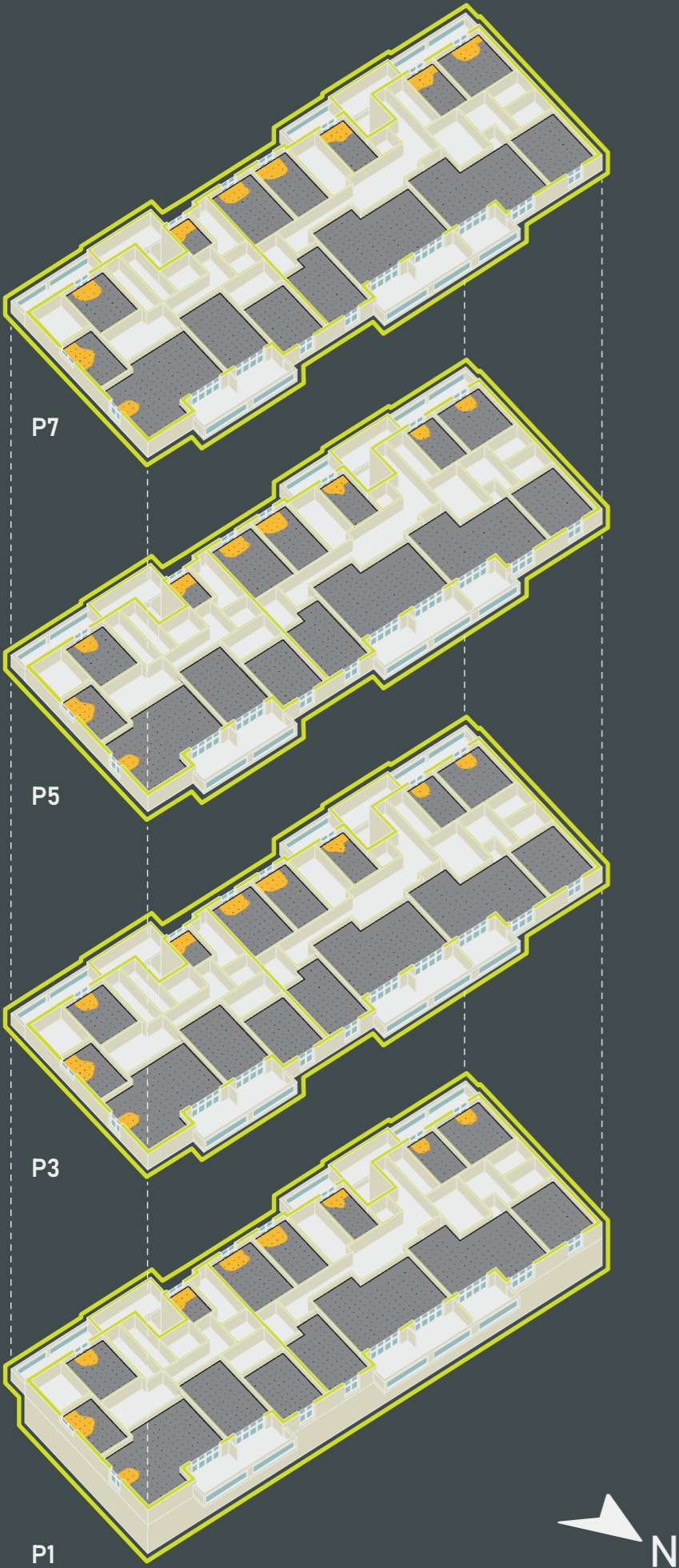
View Out Analysis



View Out Analysis - UNI EN 17037



Annual Sunlight Exposure - IES LM83



RISULTATI COMPLESSIVI

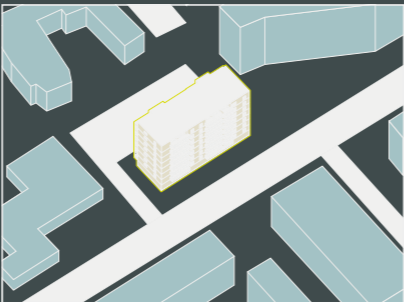
6%
----

RISULTATI PER PIANO

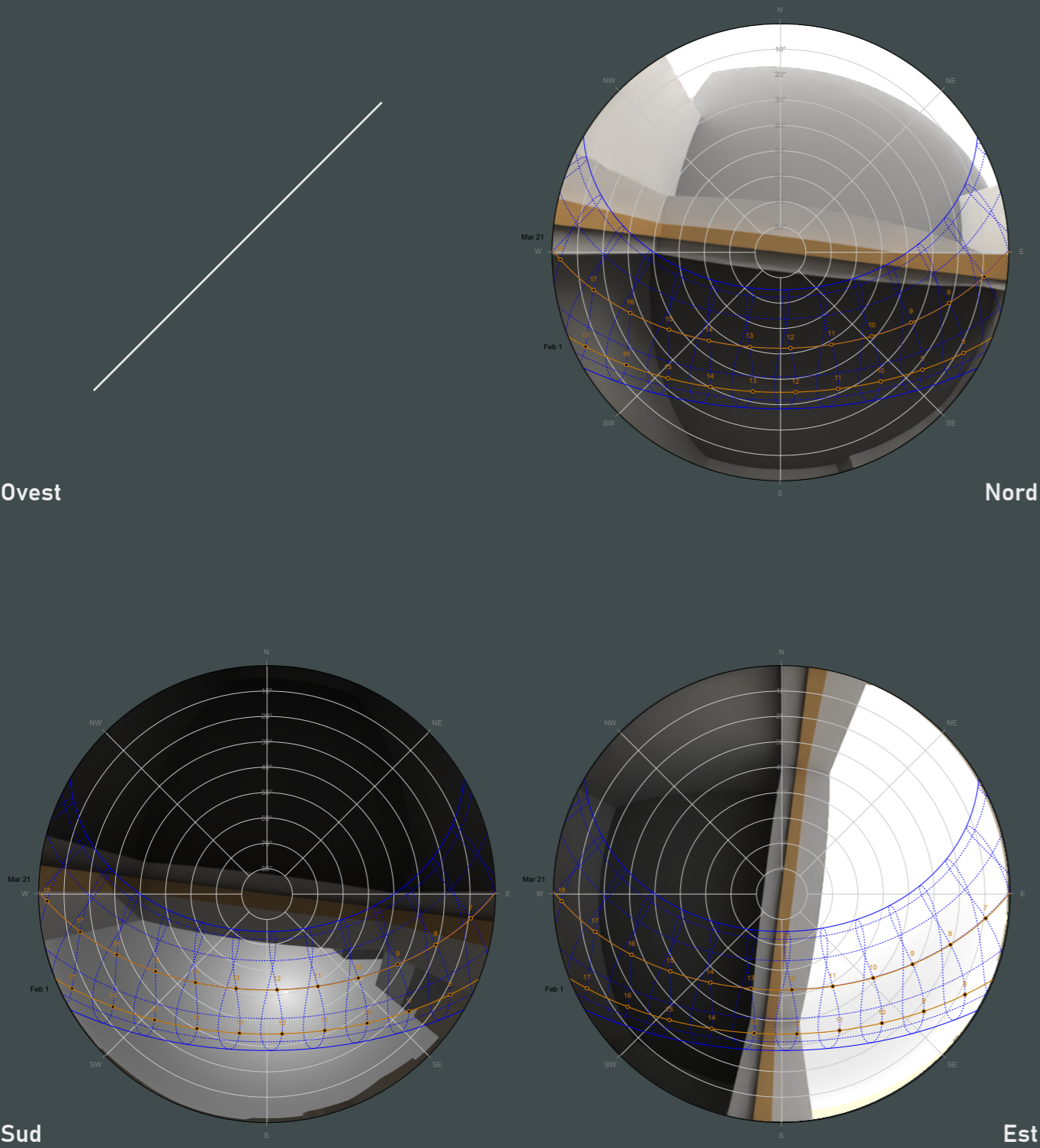
PIANO 1:	4%
PIANO 7:	7%

RISULTATI PER ORIENTAMENTO

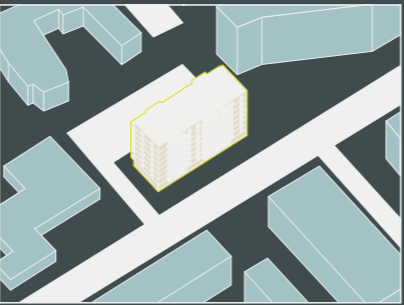
SUD	10%
EST	7%
NORD	2%
OVEST	--%



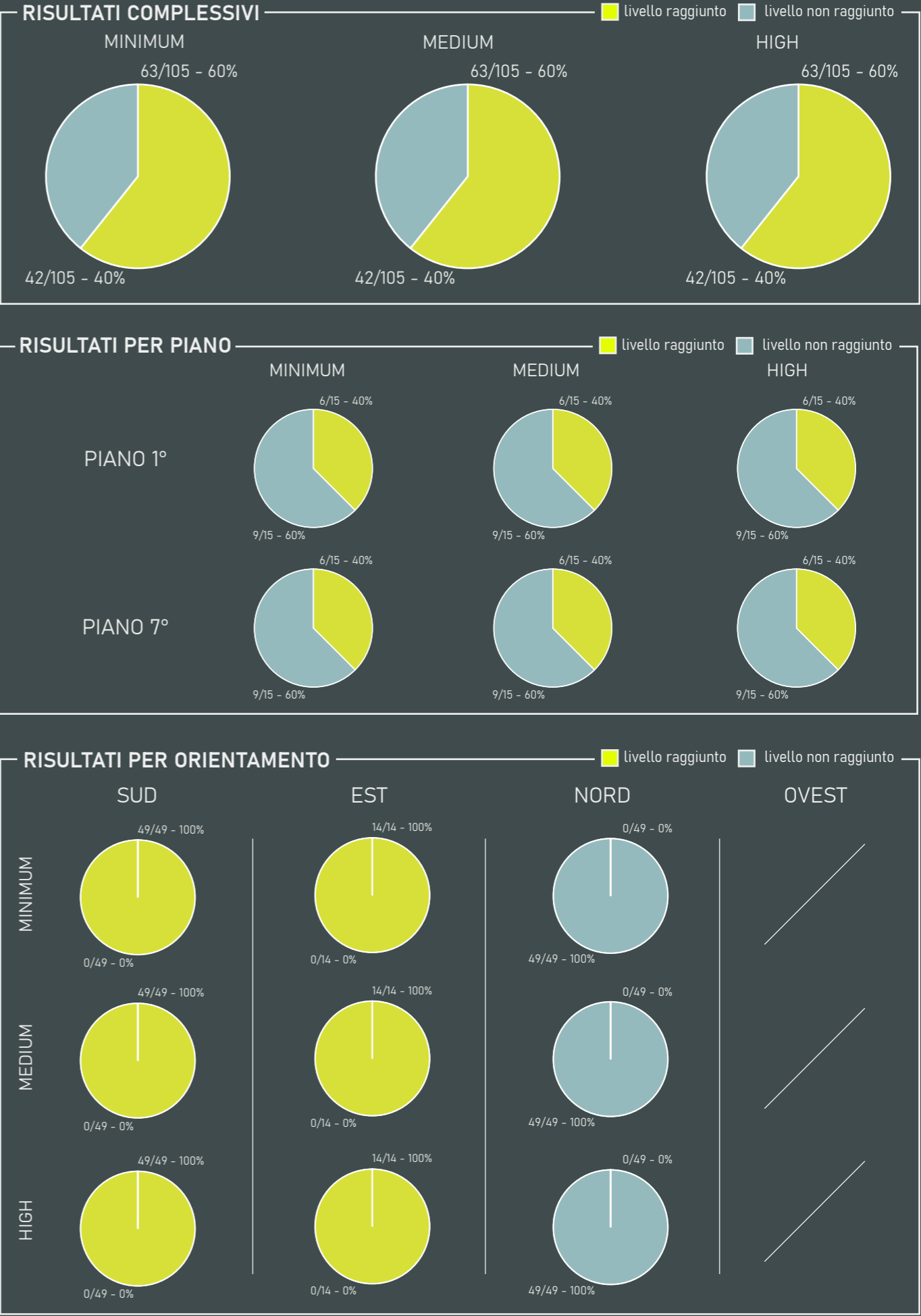
Sunlight Exposure - UNI EN 17037



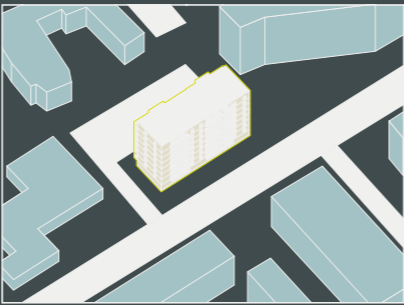
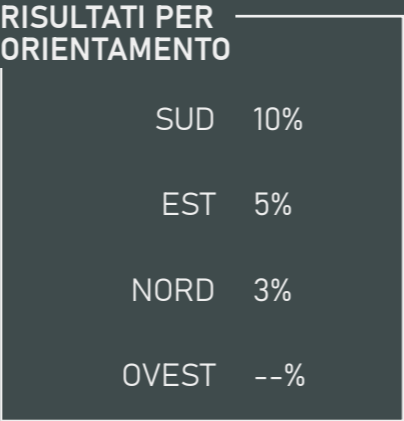
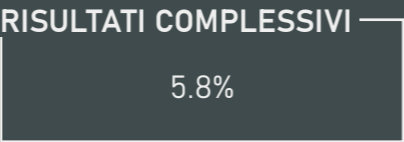
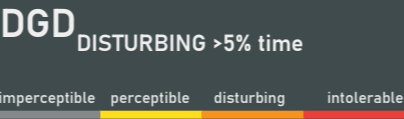
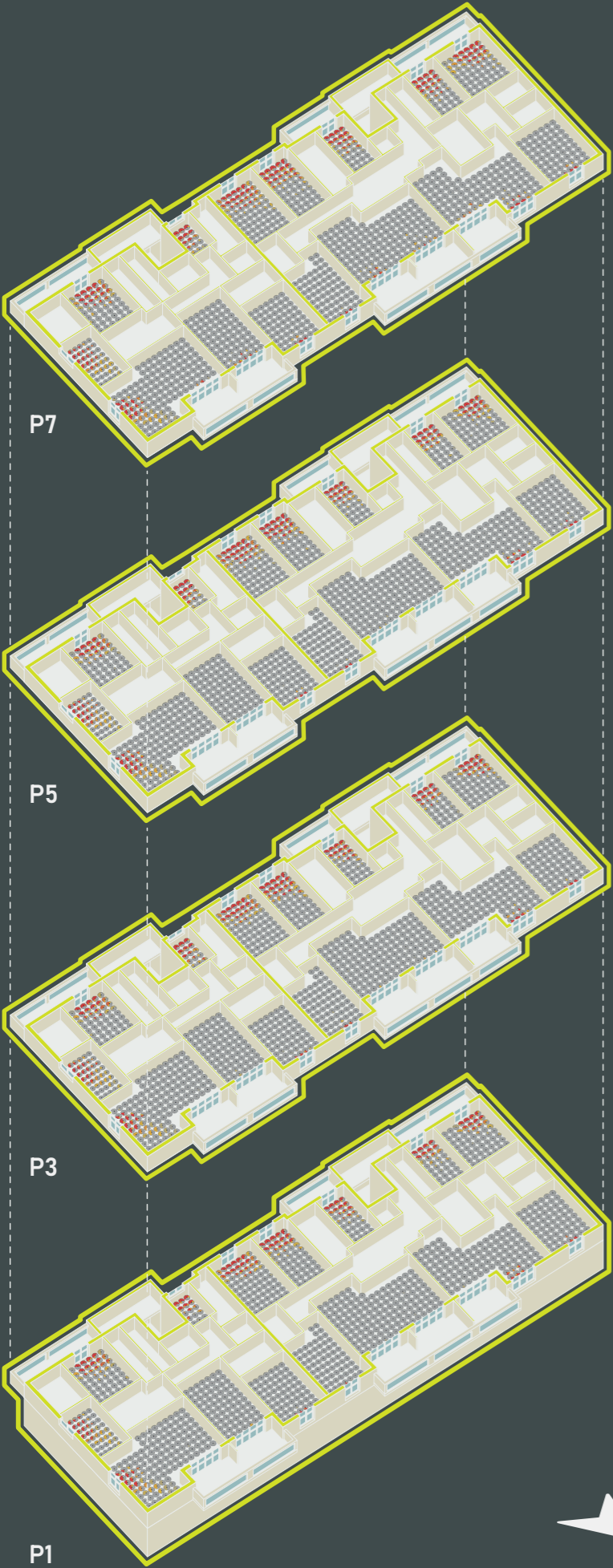
Immagini relative al primo piano



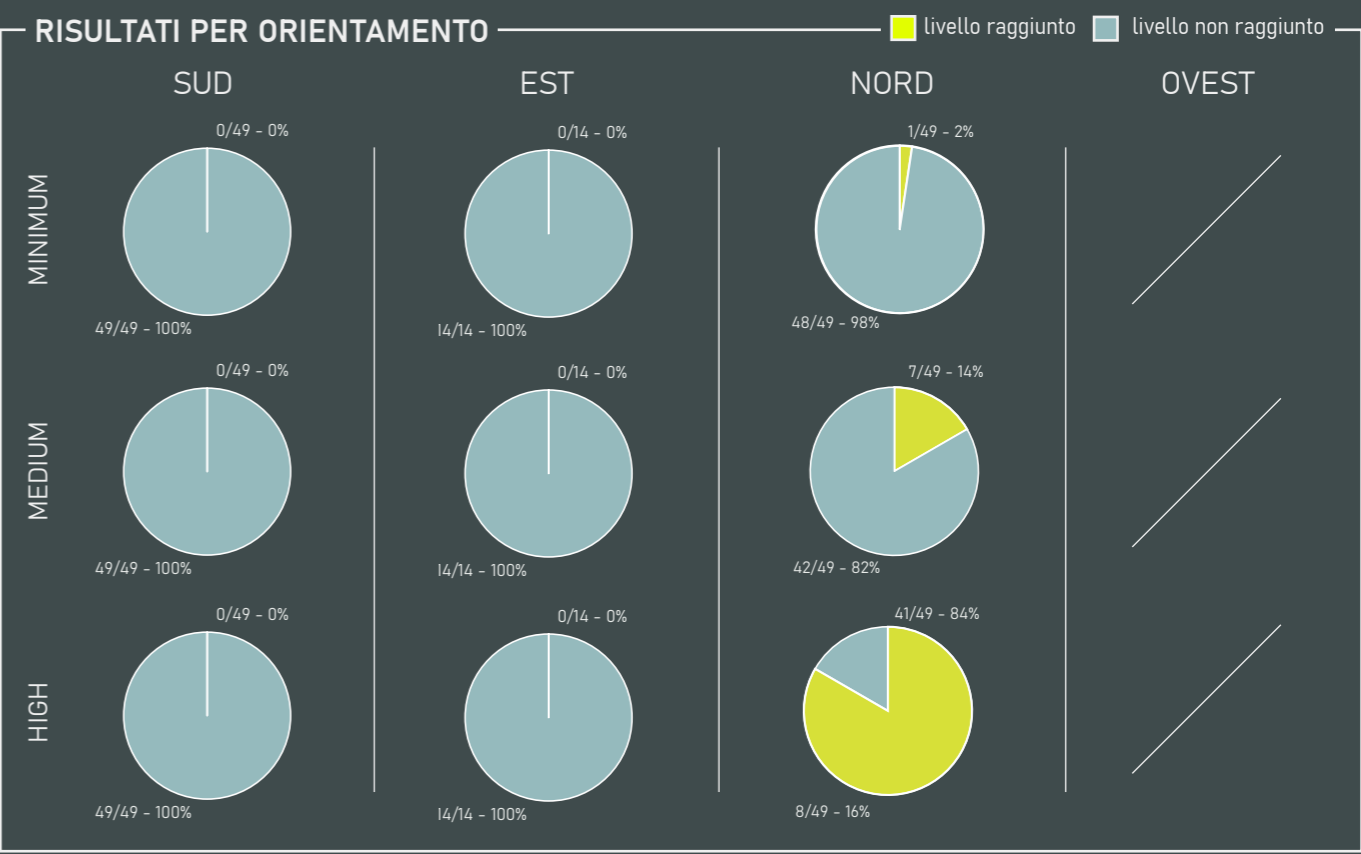
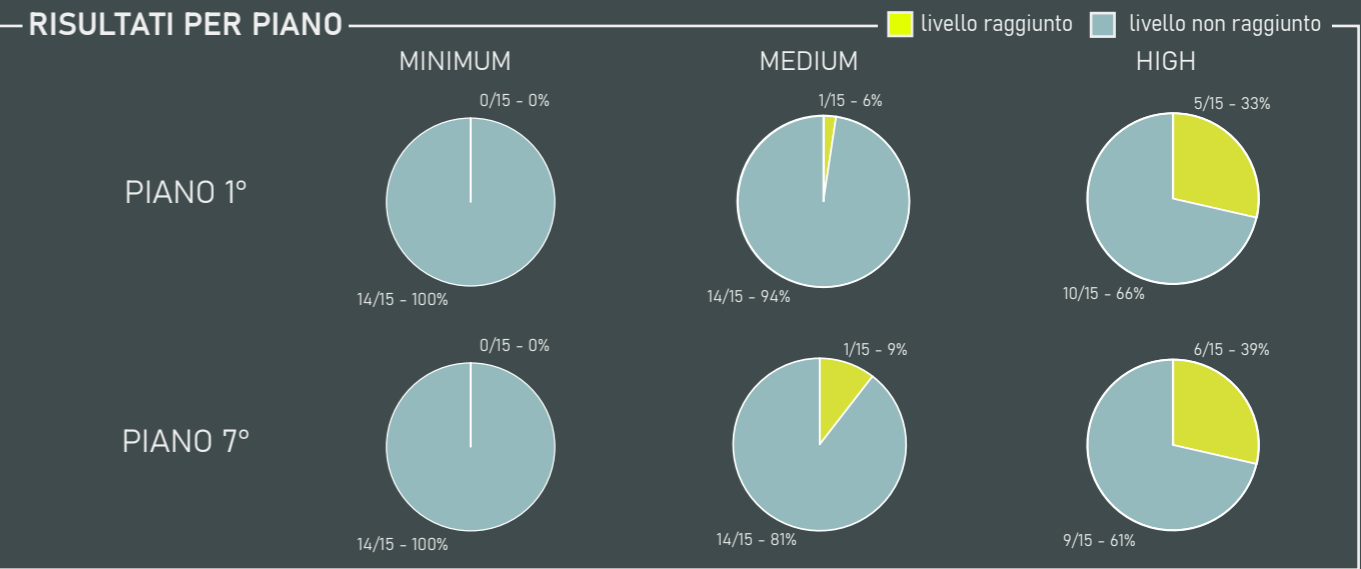
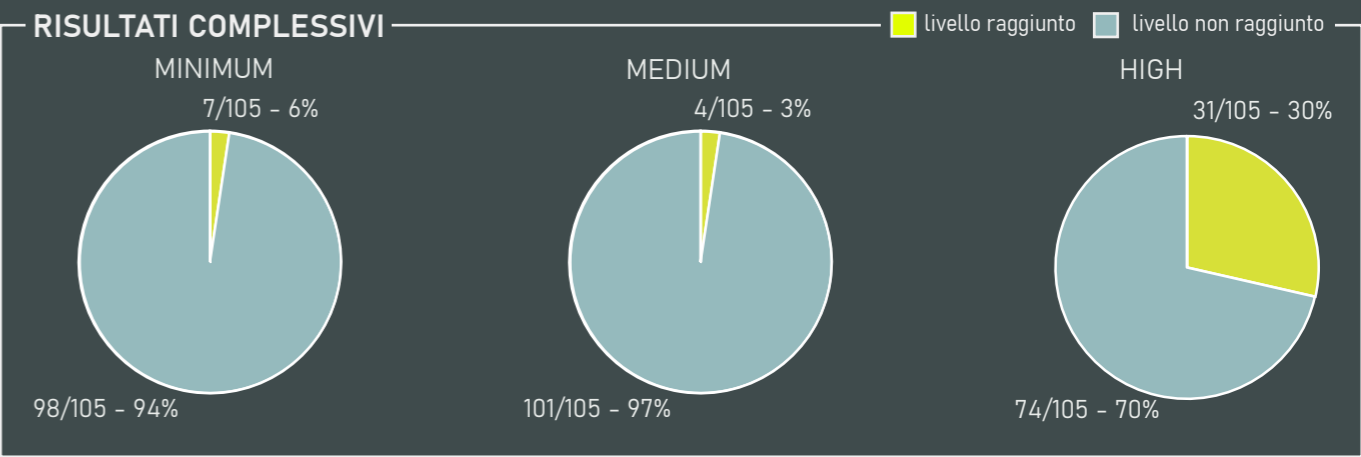
Sunlight Exposure - UNI EN 17037



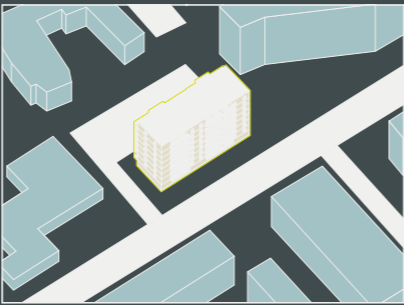
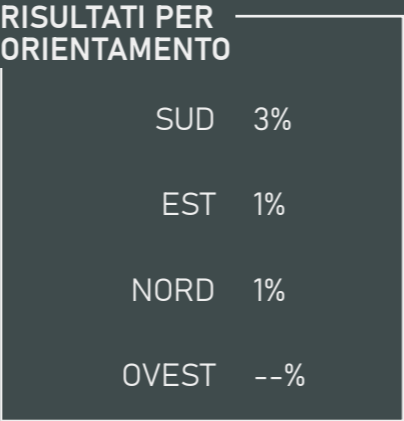
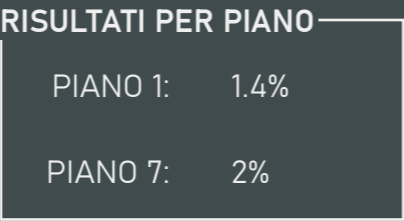
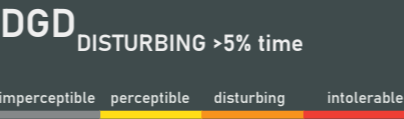
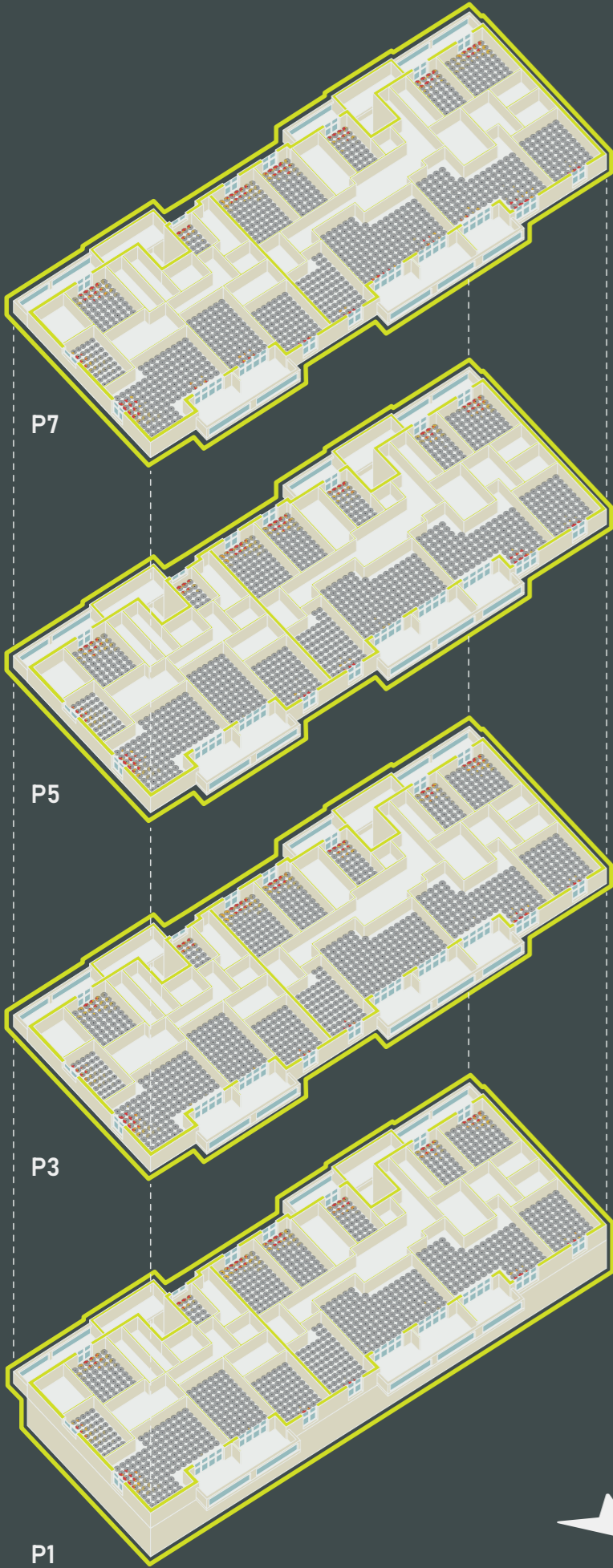
Daylight Glare NO BLINDS - IES LM83



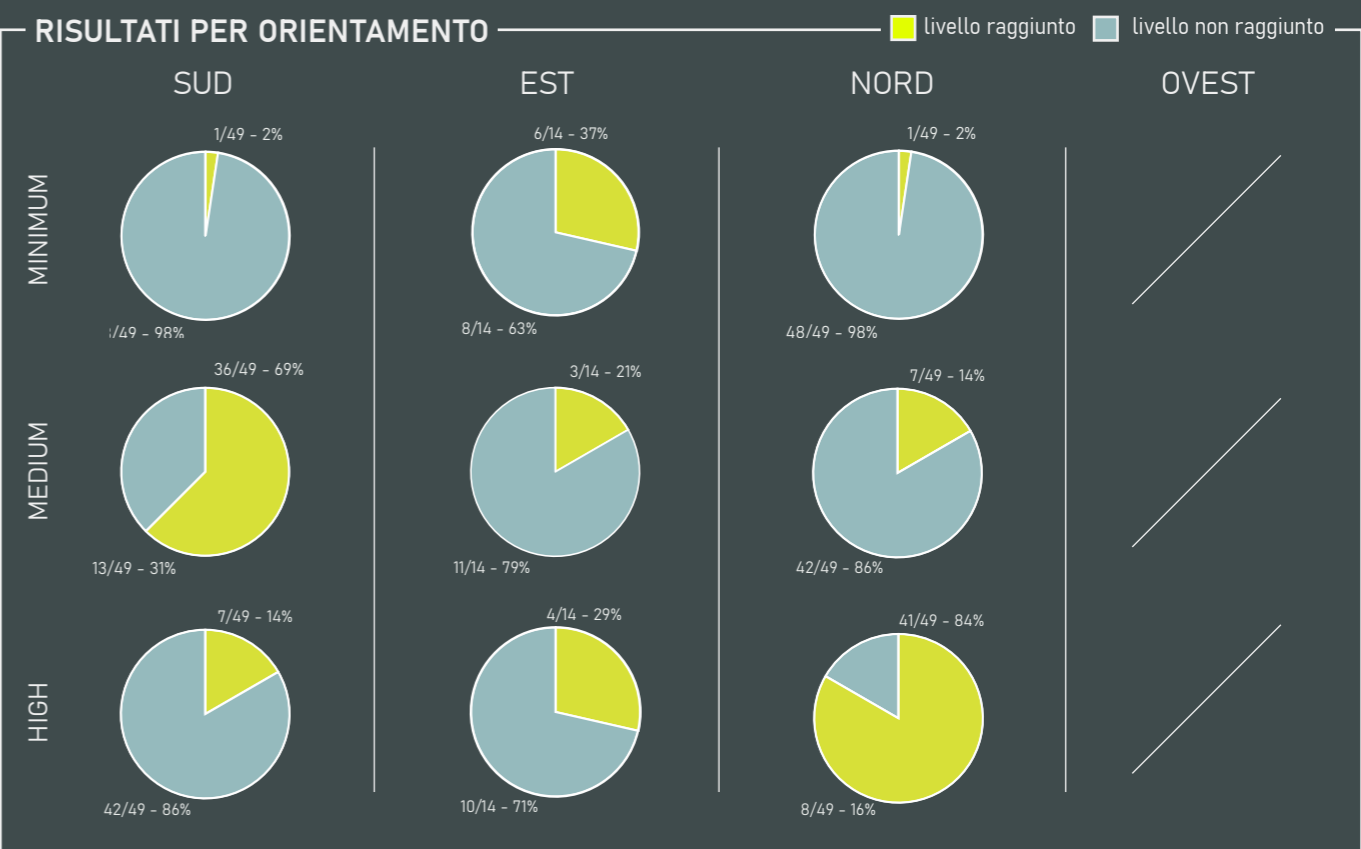
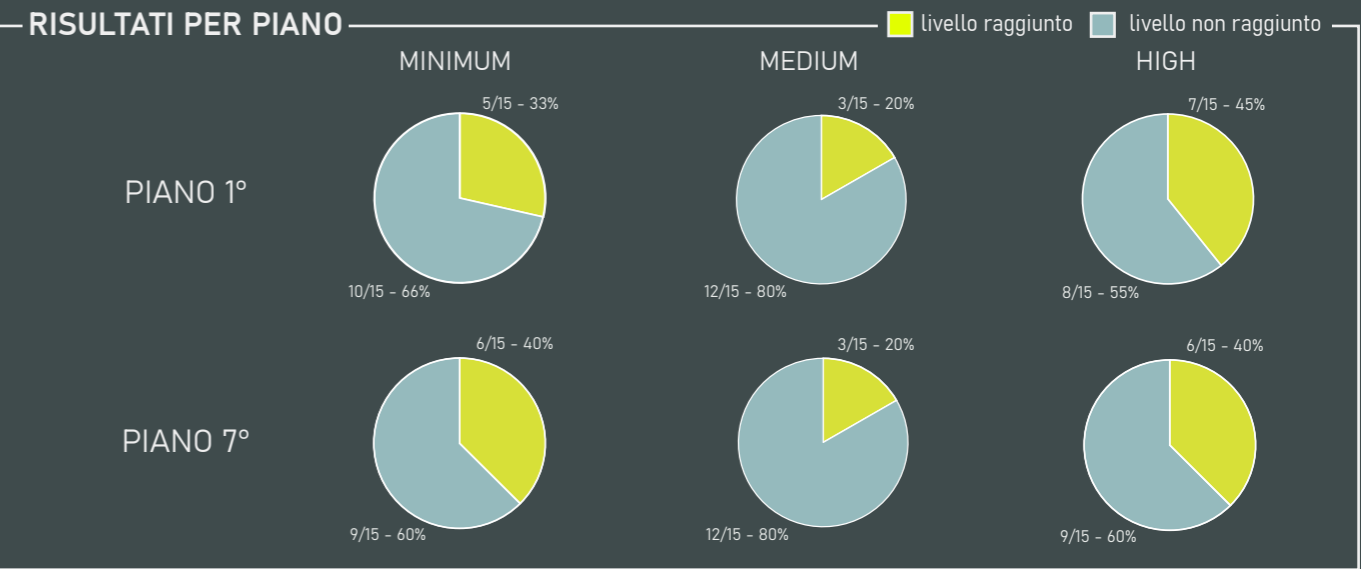
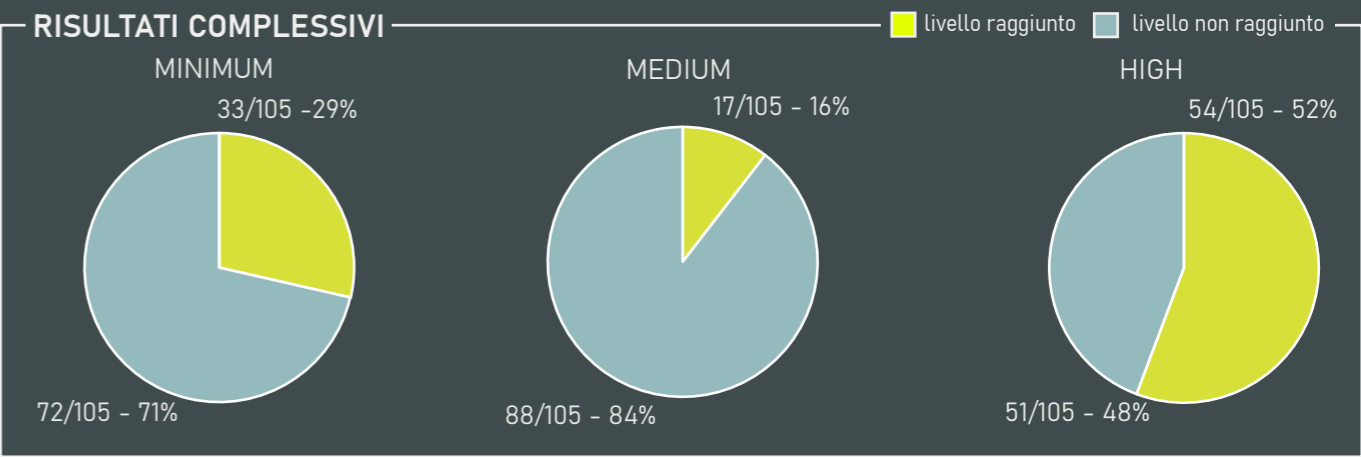
Glare Protection NO BLINDS - UNI EN 17037



Daylight Glare BLINDS - IES LM83



Glare Protection BLINDS - UNI EN 17037



## 6.4.5 UFFICI - MILANO

A Milano il livello minimo di DP è raggiunto per più della metà dei casi, per l'esattezza nel 66% degli ambienti della simulazione con sistema schermante. I valori si mantengono costanti anche all'aumentare dell'altezza del piano.

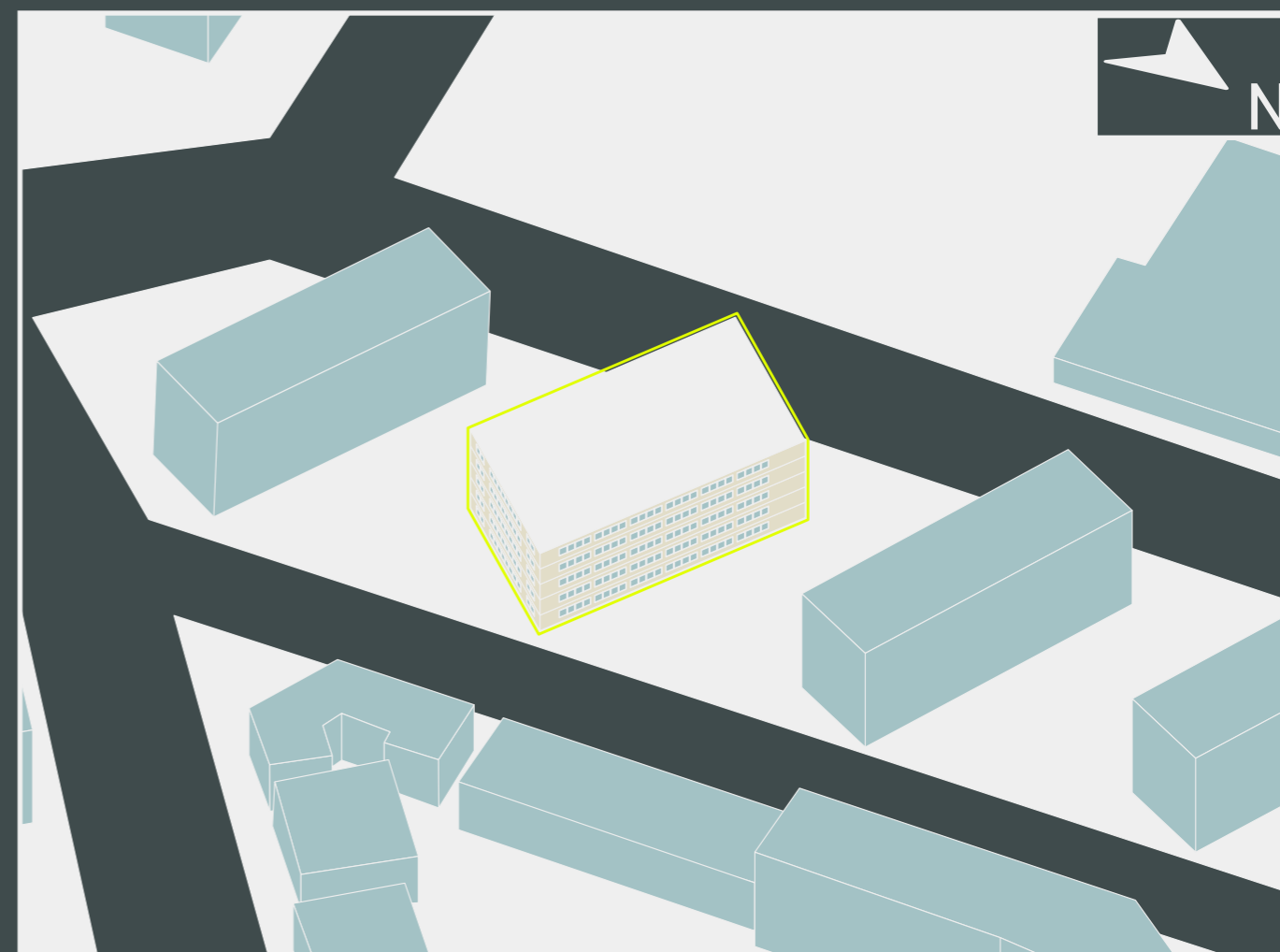
I valori delle simulazioni senza tenda raggiungono al 100% il livello minimo, mentre il livello medio è raggiunto in un numero abbastanza alto di casi.

La View Out Analysis raggiunge livelli complessivamente alti, con una modesta percentuale di punti a livello minimo concentrati nei piani bassi sul lato nord.

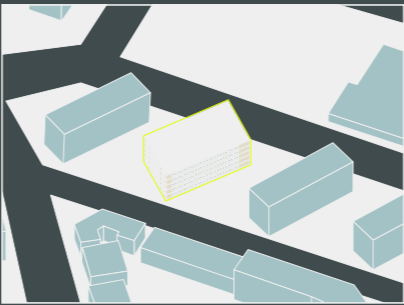
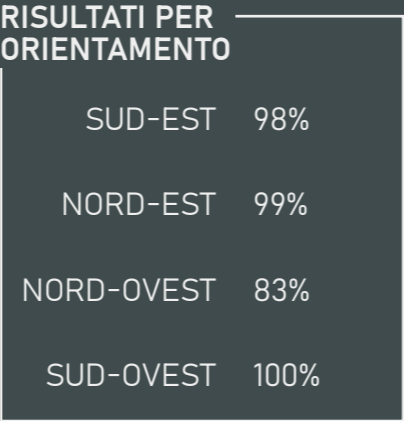
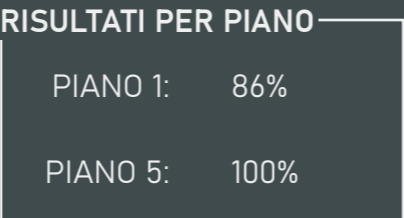
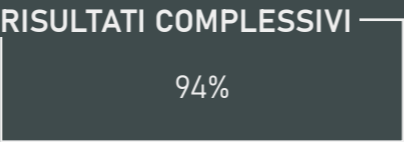
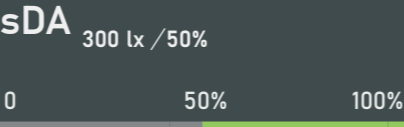
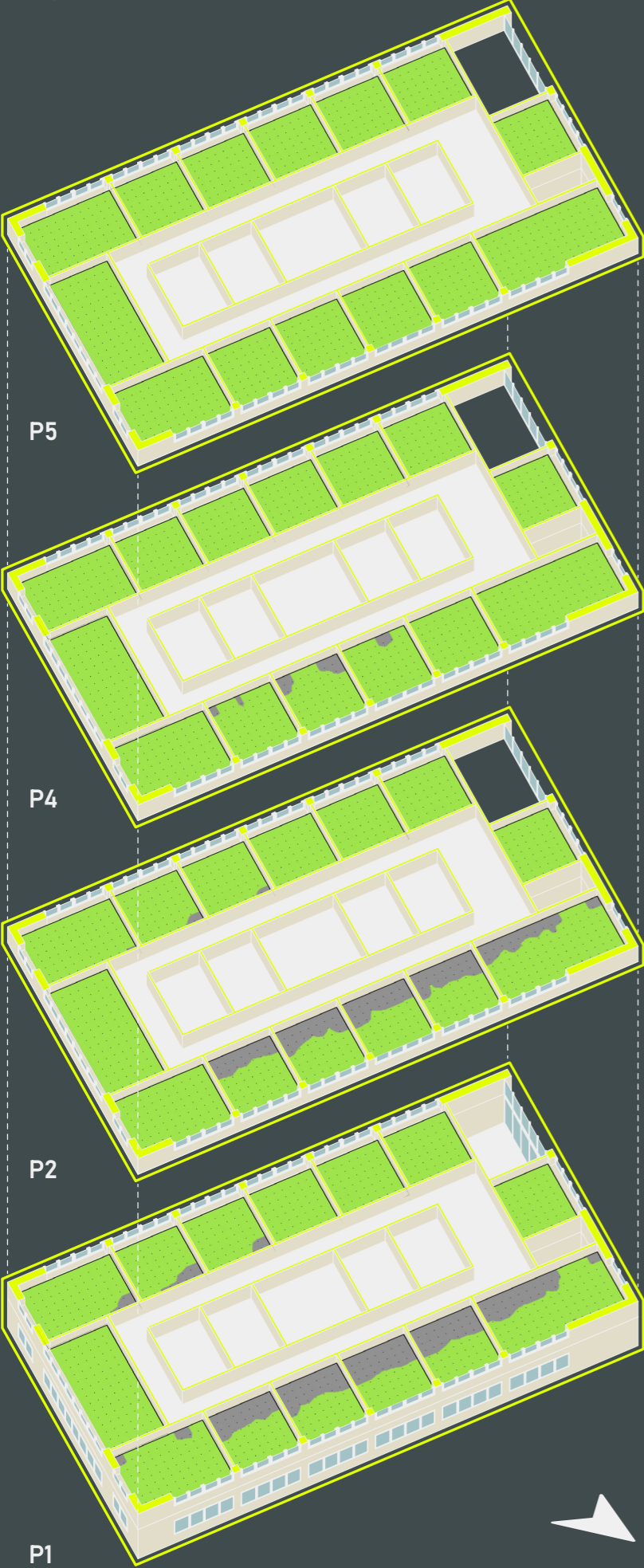
Il requisito dell'SE è rispettato per gli ambienti esposti a sud, raggiungendo in questi casi il livello alto consigliato. Anche se non completamente esposti a nord, gli ambienti che si affacciano sulle due rimanenti facciate, non raggiungono neanche il livello minimo. Per questi ambienti l'esposizione alla luce solare diretta nell'arco di tempo considerato è molto bassa.

Per quanto riguarda il requisito di GP, è rilevante l'uso del sistema schermante, ma soltanto per quanto riguarda il raggiungimento del livello intollerabile.

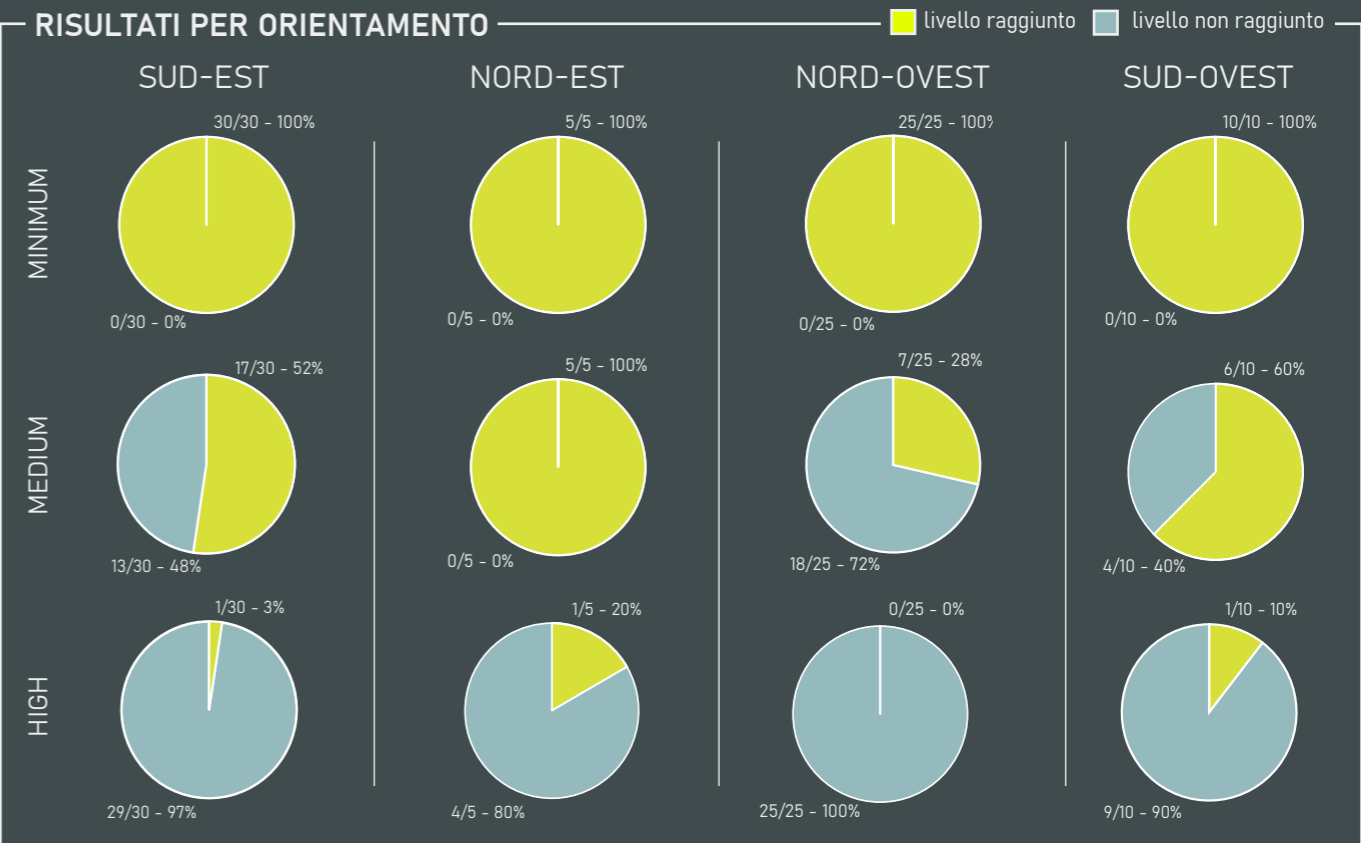
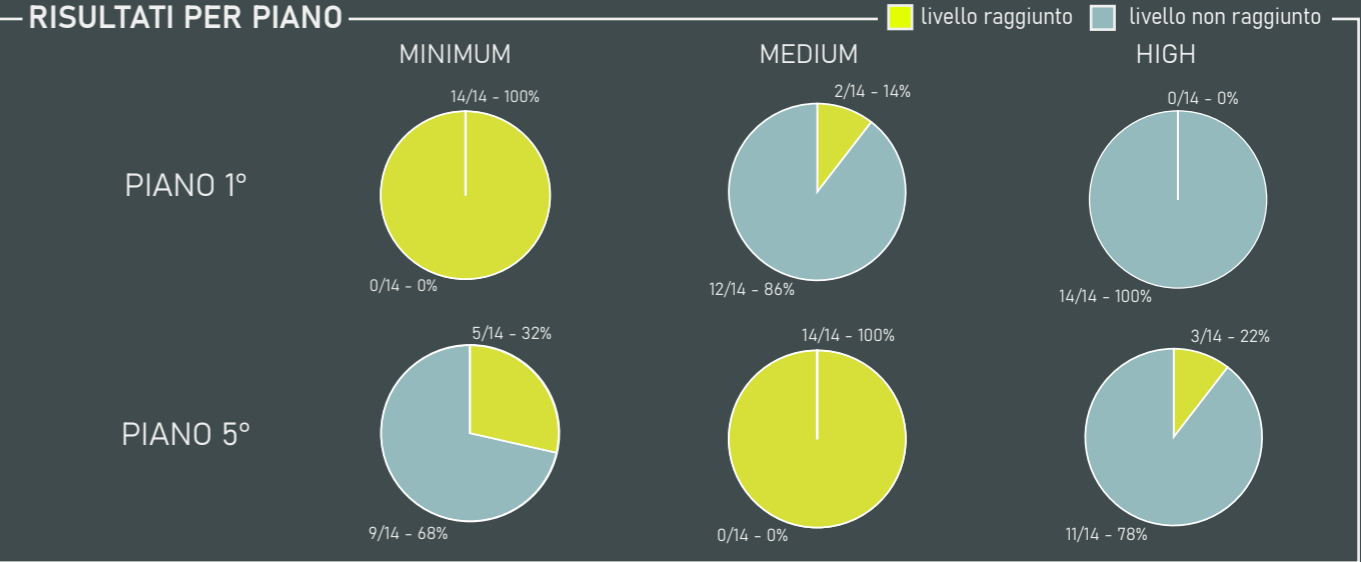
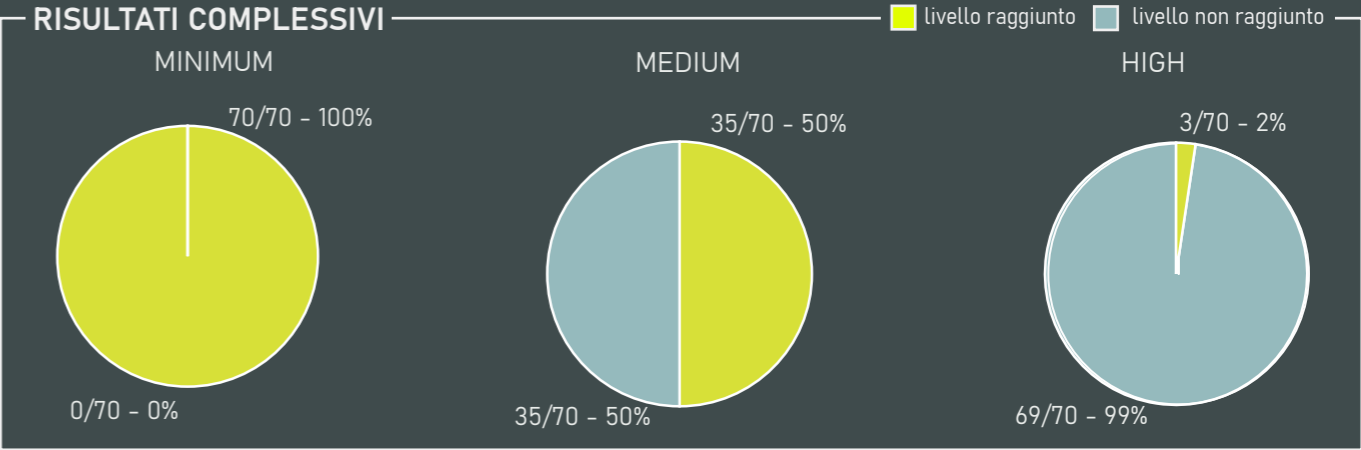
Riguardo i livelli disturbing e perceptible l'utilizzo della tenda non è tale da abbassare il numero degli ambienti che raggiungono questi livelli, che rimangono pressochè nelle stesse quantità in entrambe le simulazioni.



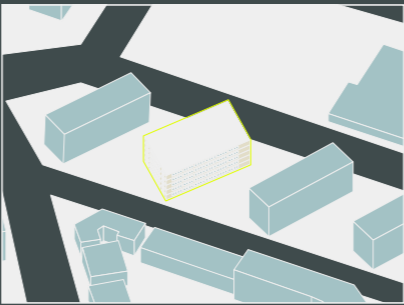
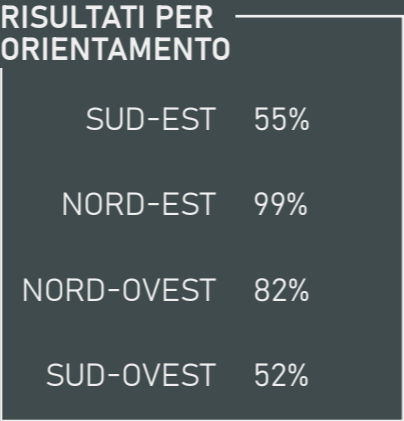
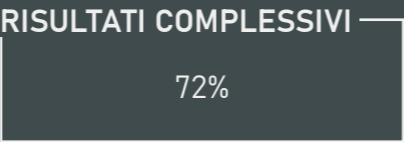
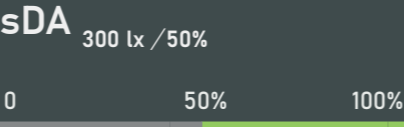
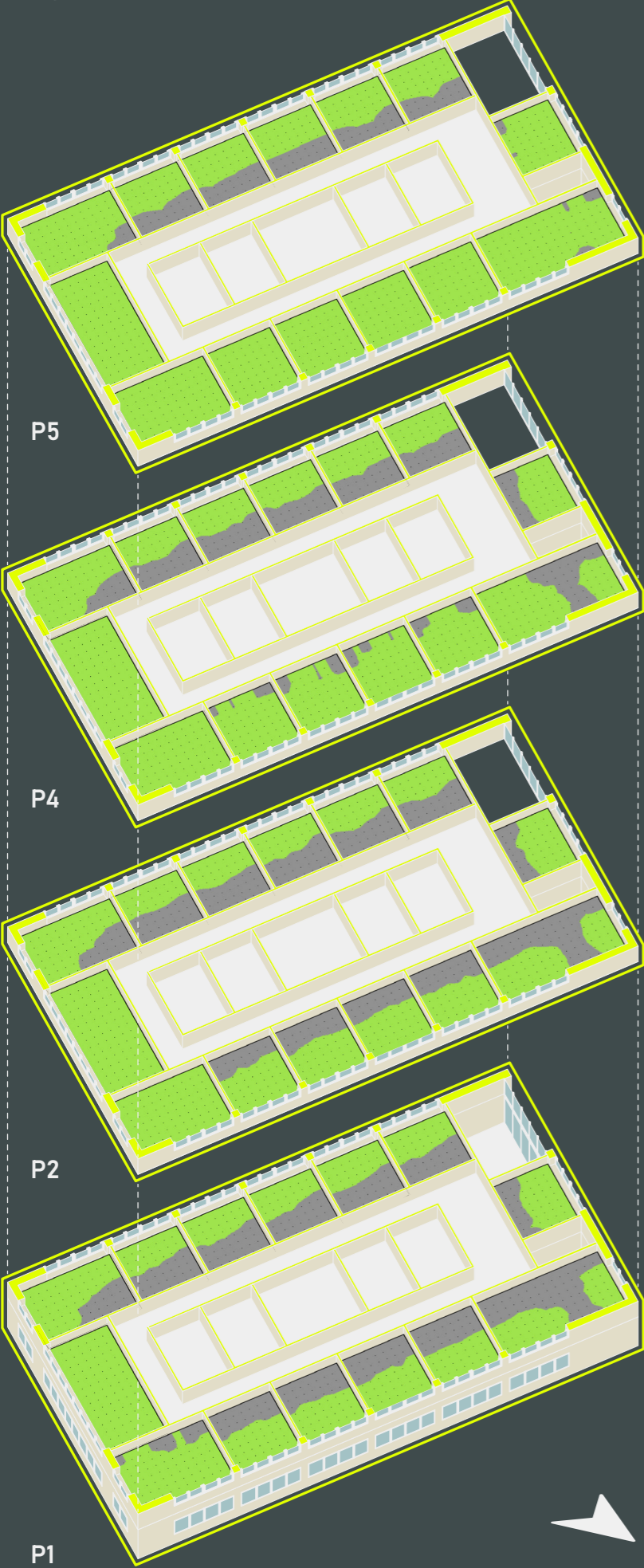
Daylight Provision NO BLINDS - IES LM83



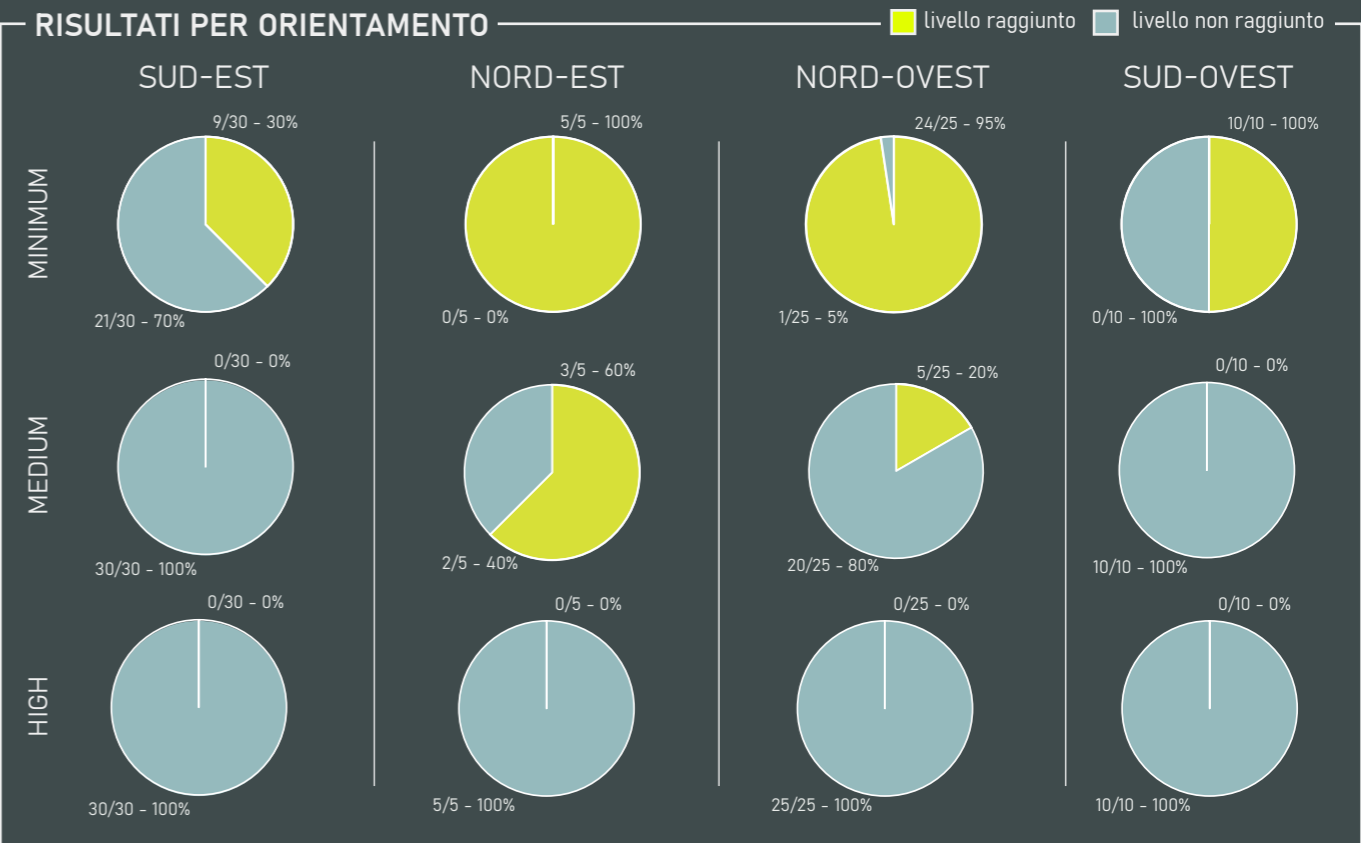
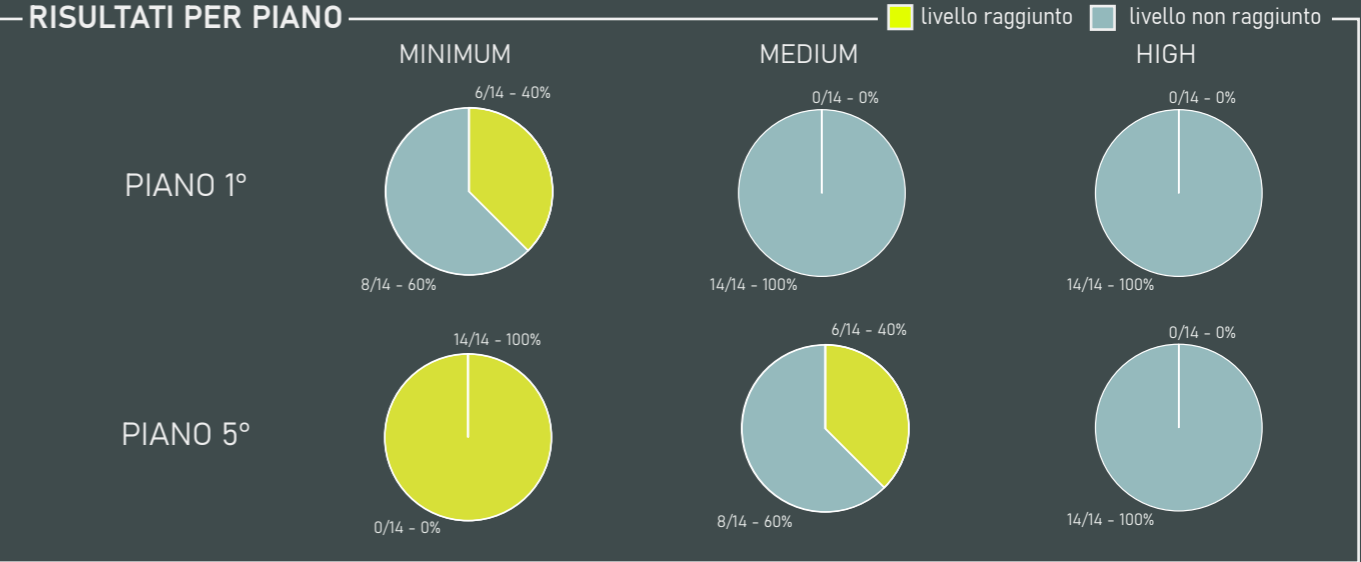
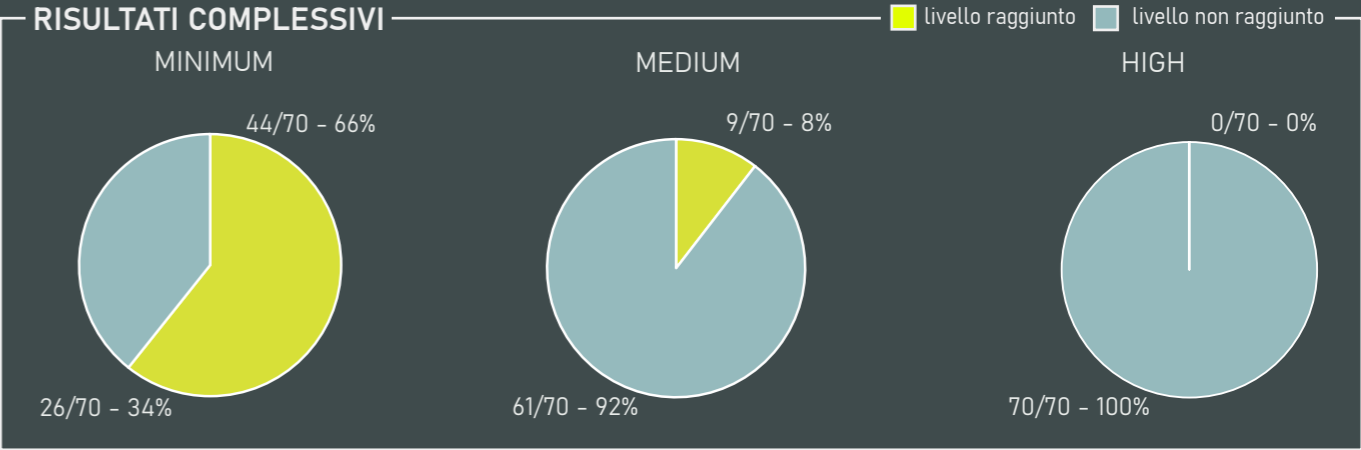
Daylight Provision NO BLINDS - UNI EN 17037



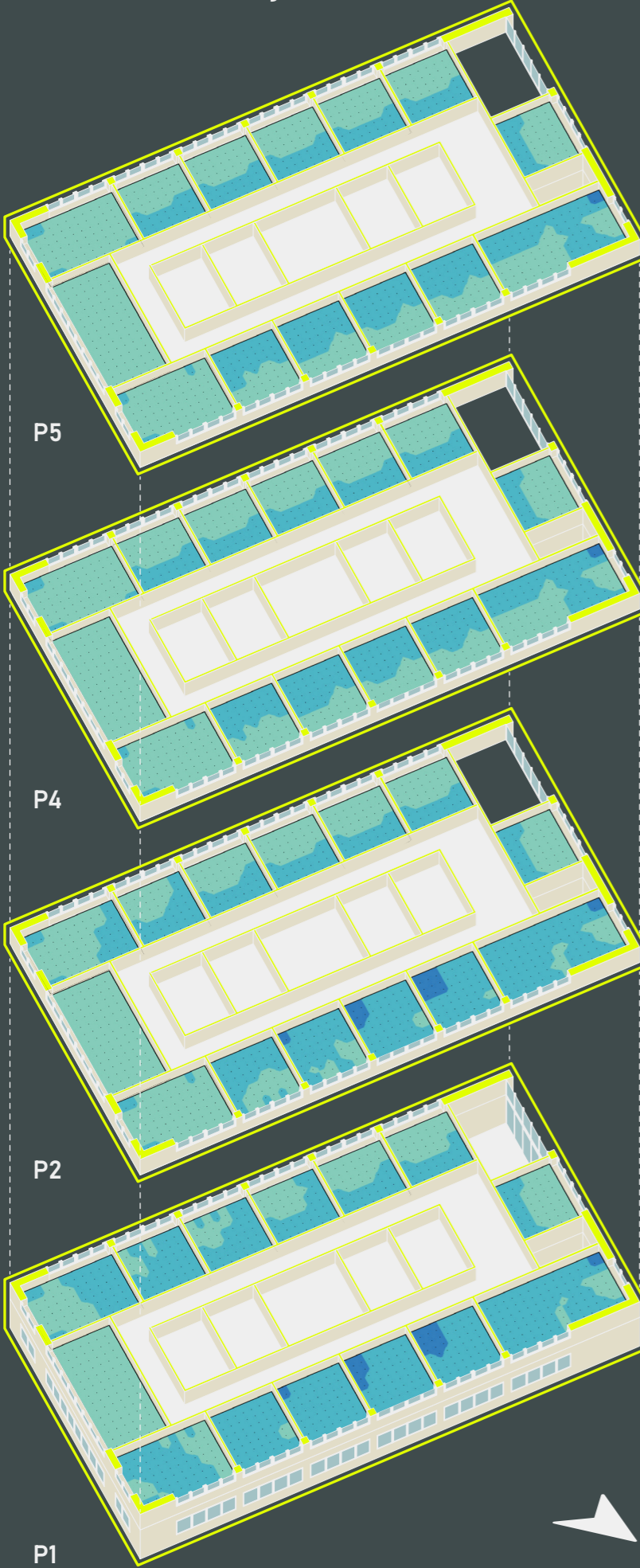
Daylight Provision BLINDS - IES LM83



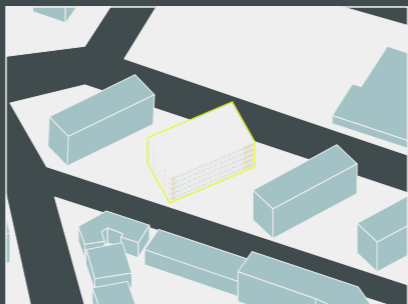
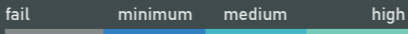
Daylight Provision BLINDS - UNI EN 17037



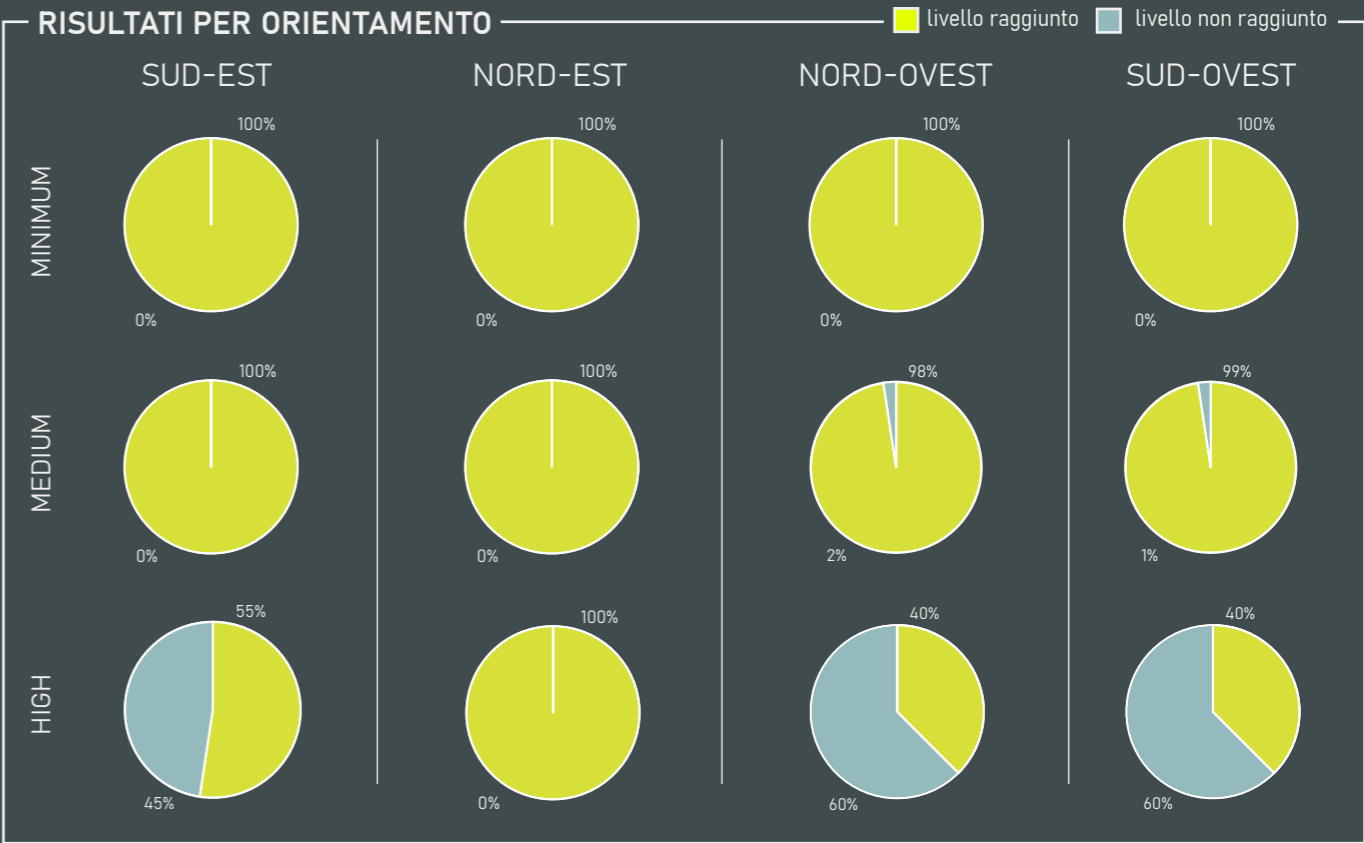
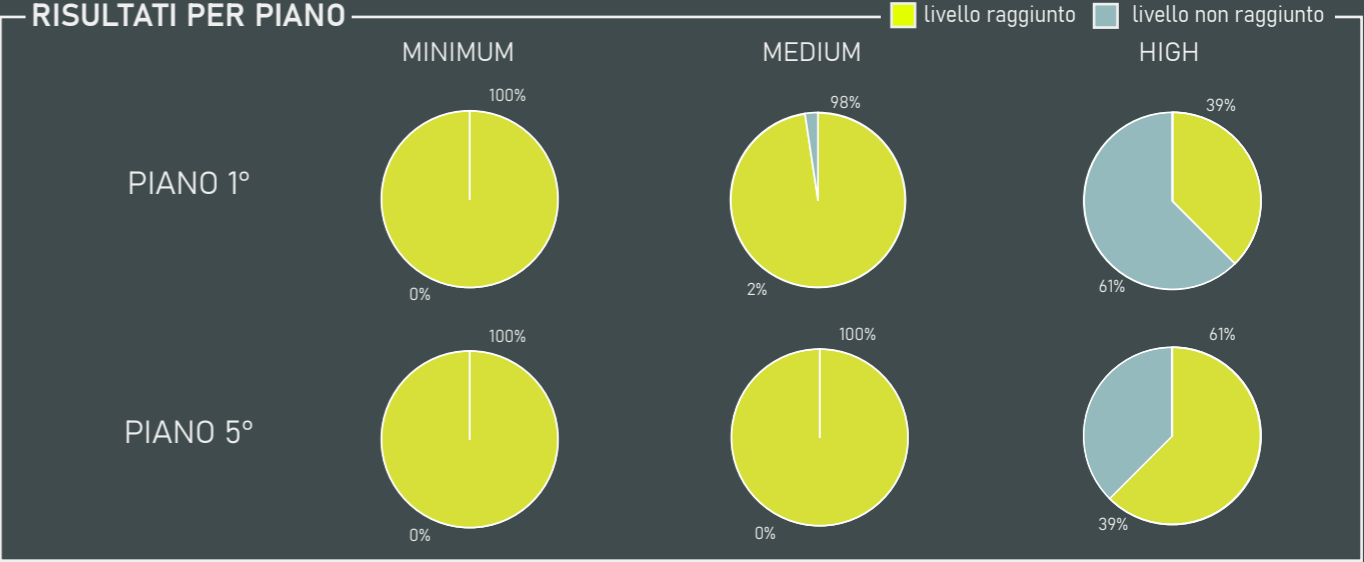
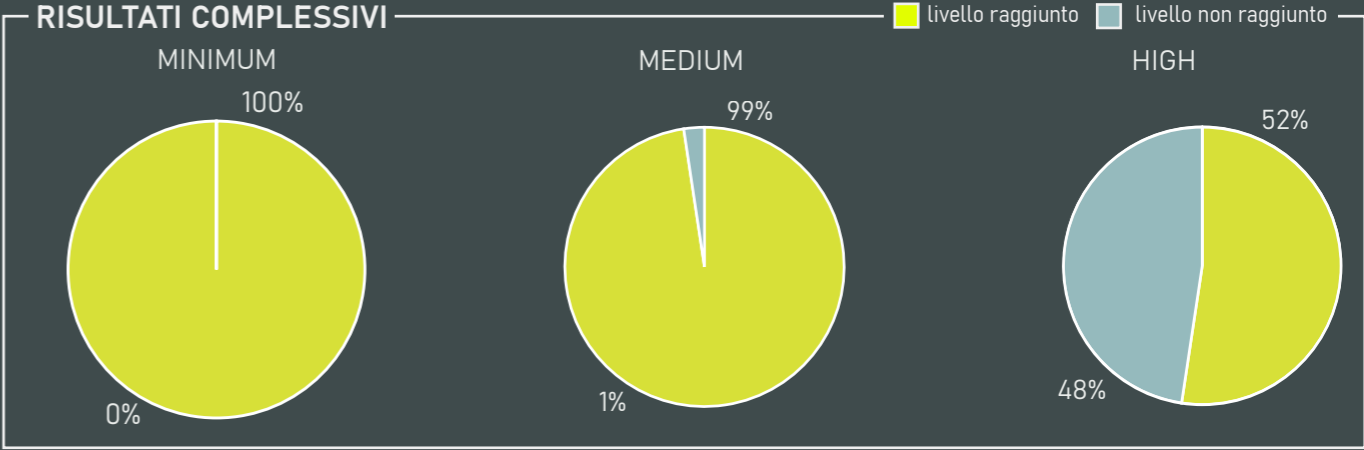
View Out Analysis - UNI EN 17037



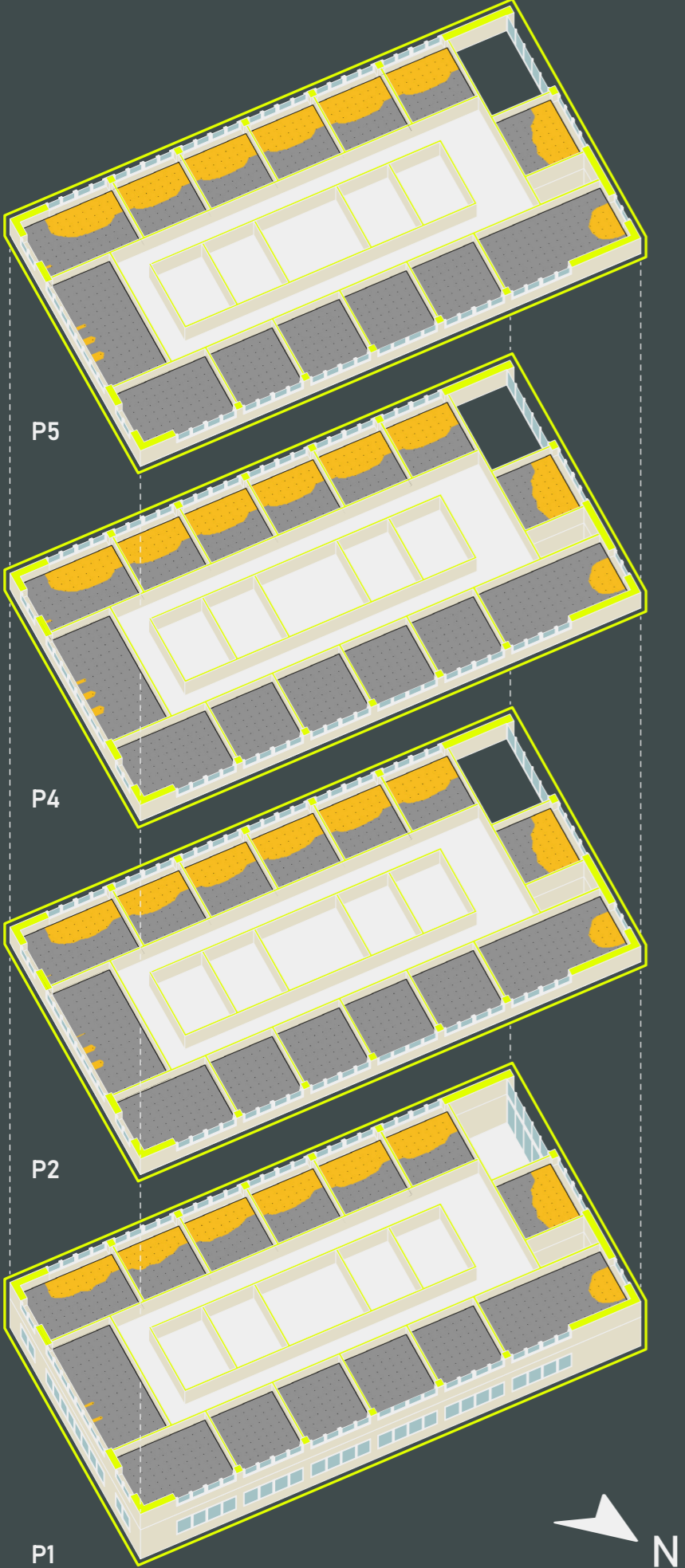
View Out Analysis



View Out Analysis - UNI EN 17037



Annual Sunlight Exposure - IES LM83



ASE 1000 lx / 250 h

0 250 h >

RISULTATI COMPLESSIVI

6%

RISULTATI PER PIANO

PIANO 1: 4%

PIANO 7: 7%

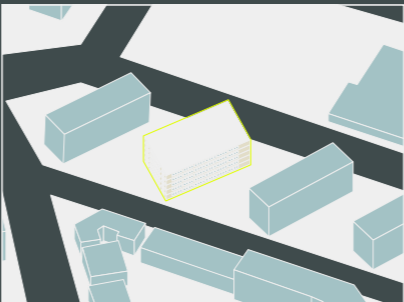
RISULTATI PER ORIENTAMENTO

SUD 19%

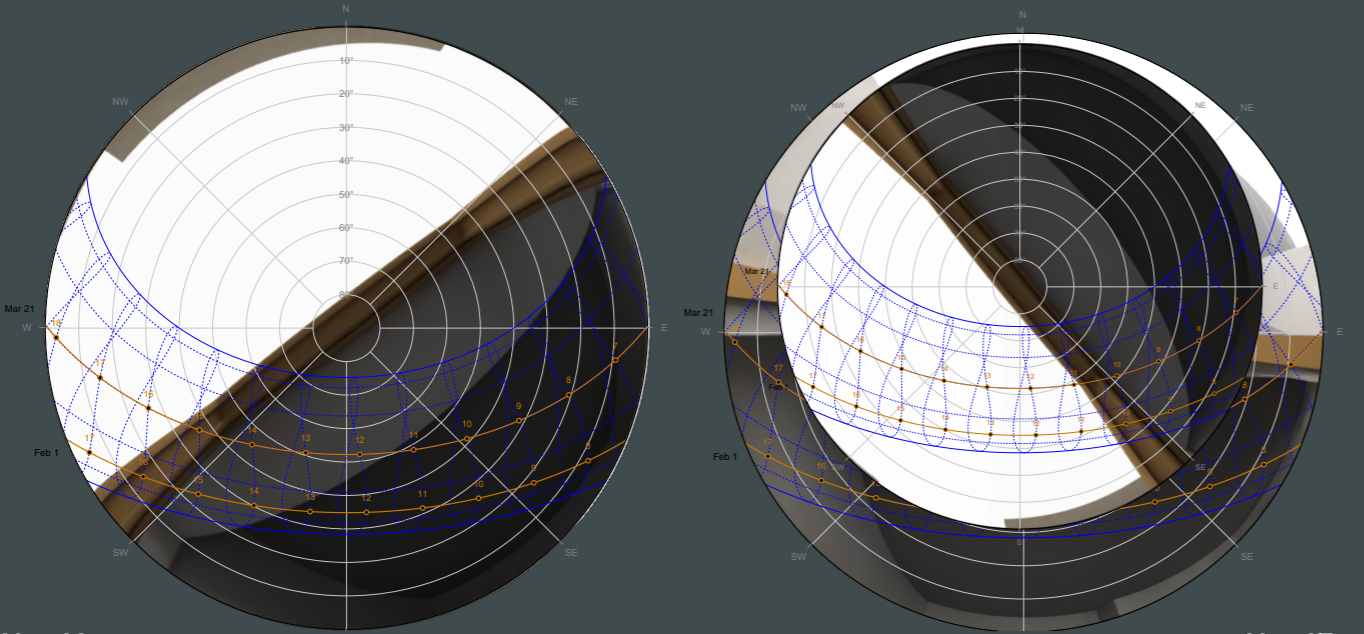
EST 1%

NORD 2%

OVEST 31%

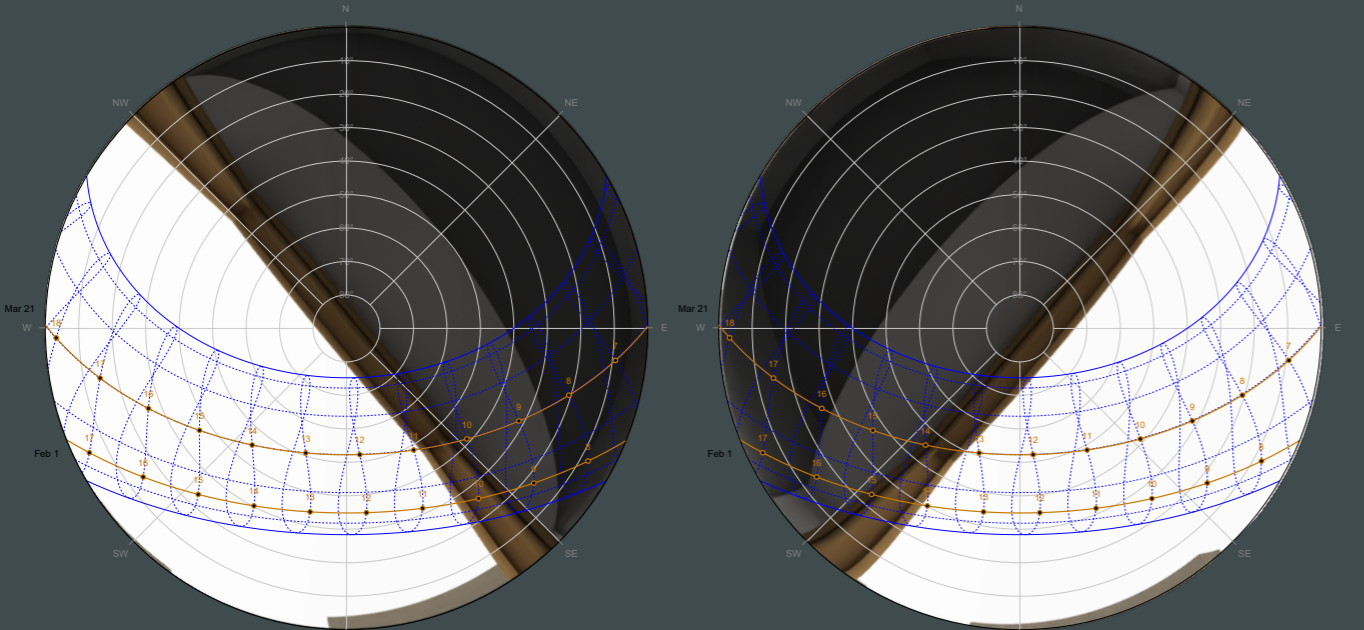


Sunlight Exposure - UNI EN 17037



NordOvest

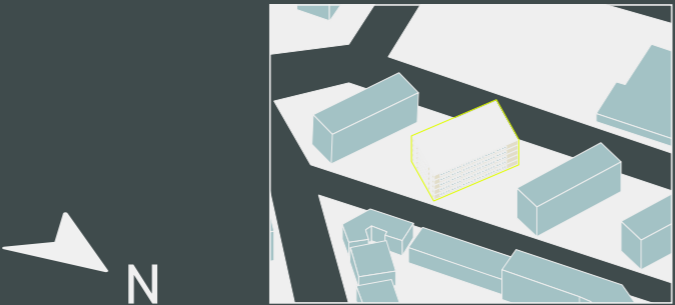
NordEst



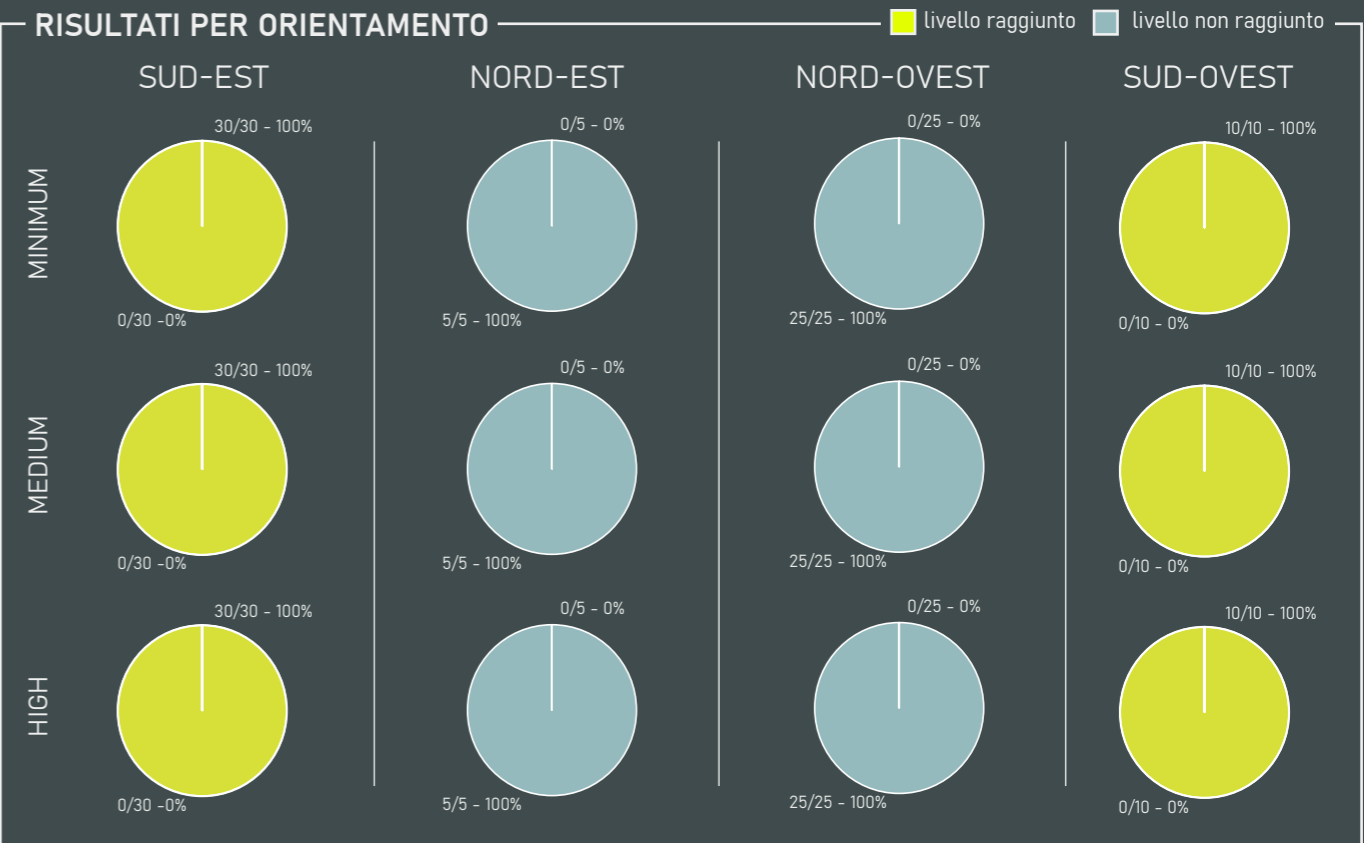
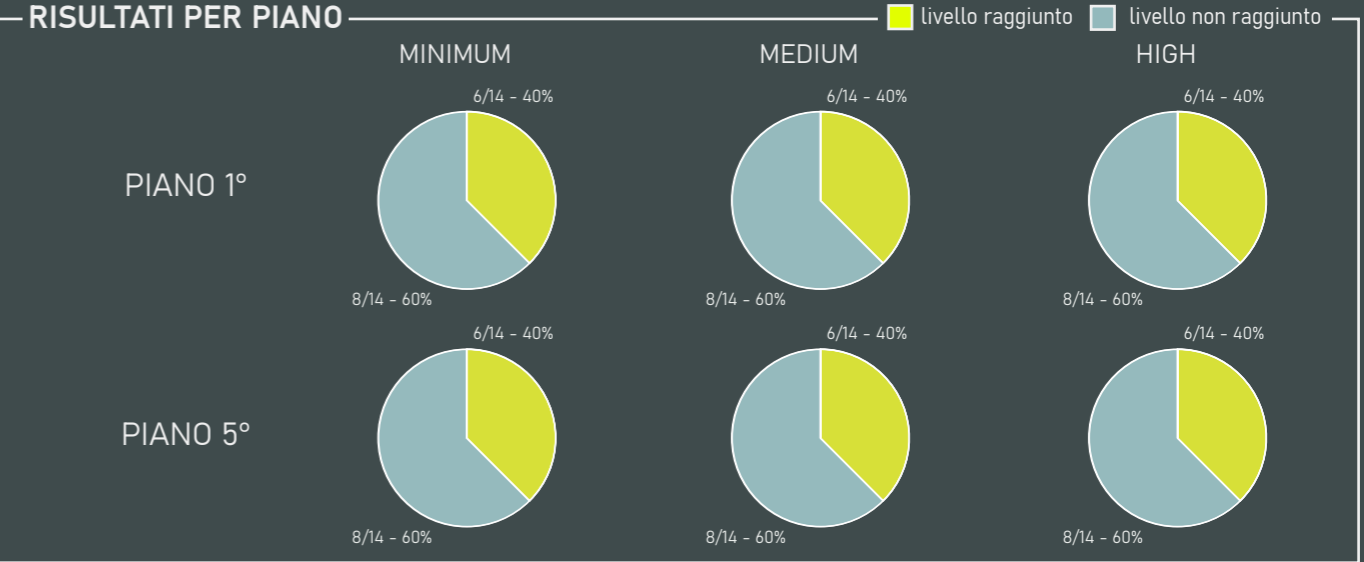
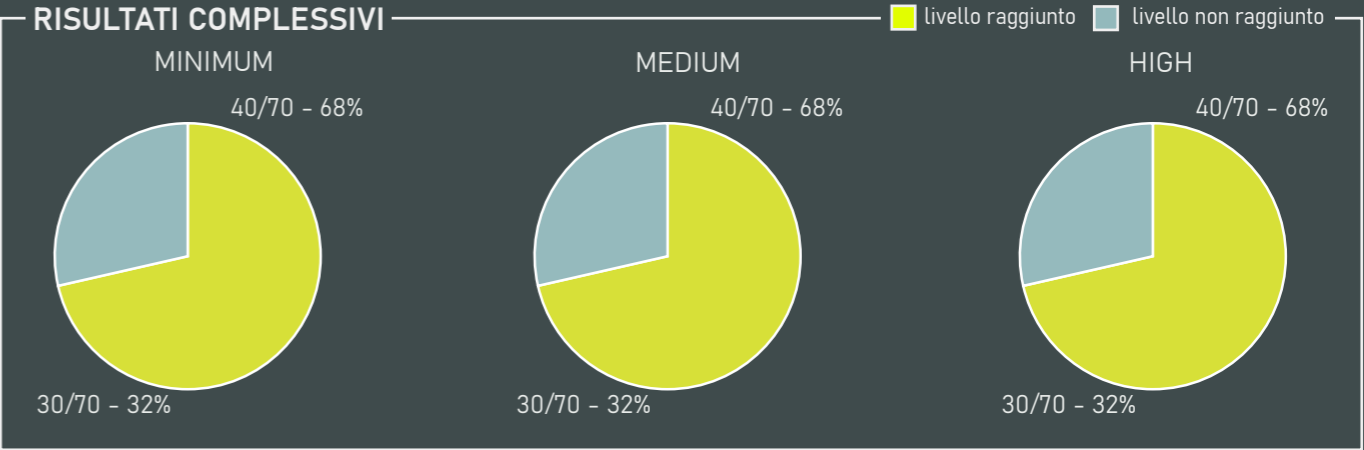
SudOvest

SudEst

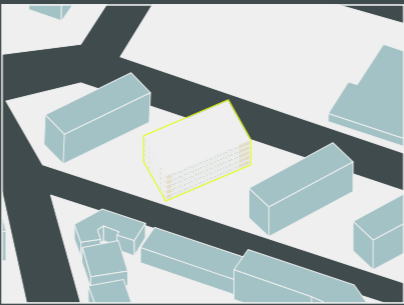
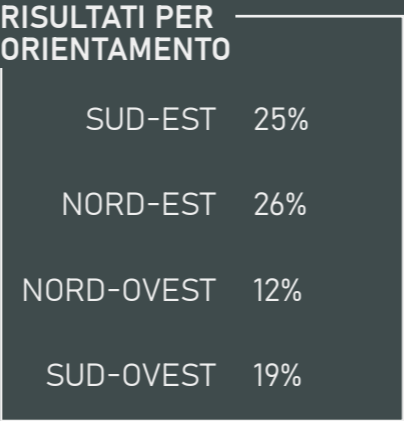
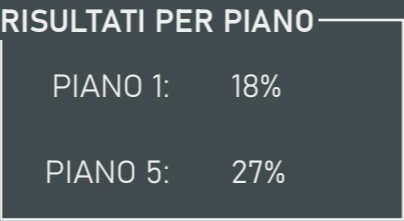
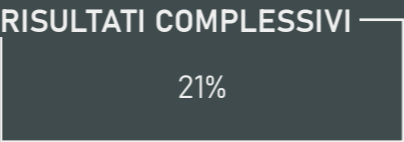
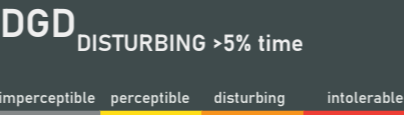
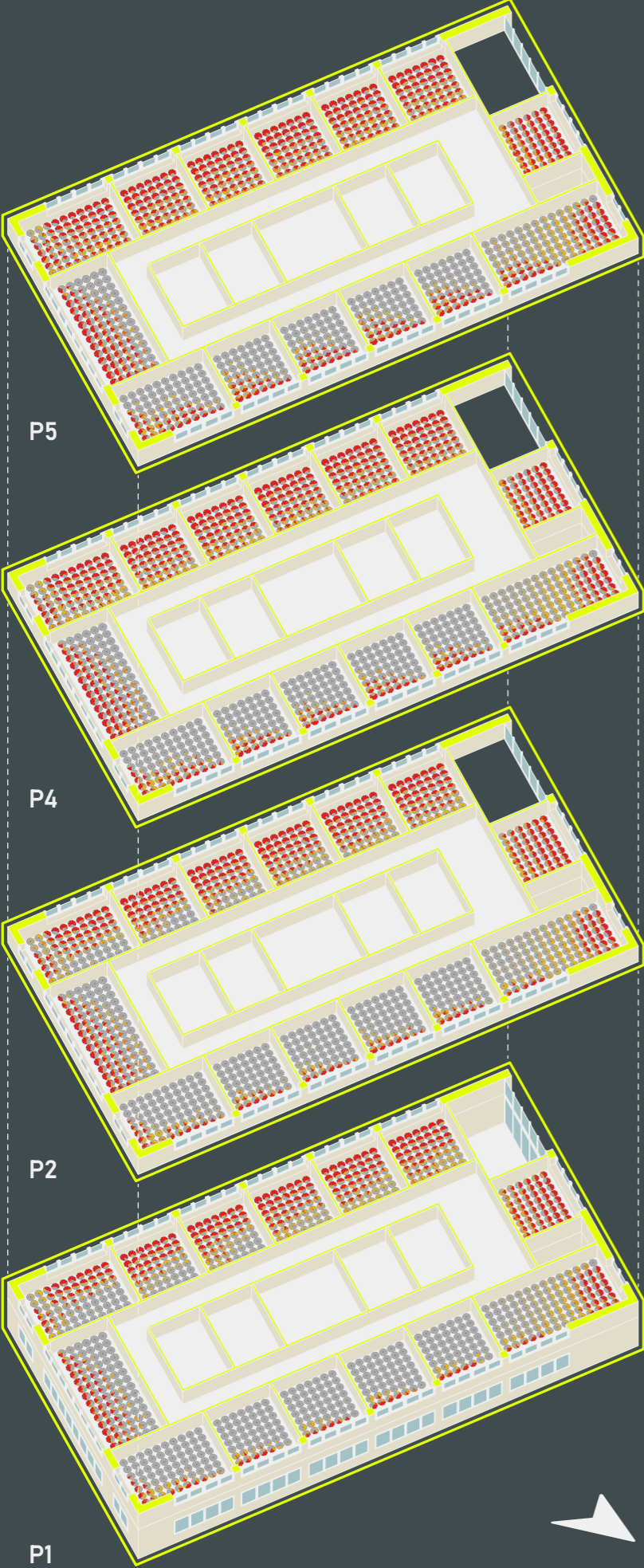
Immagini relative al primo piano



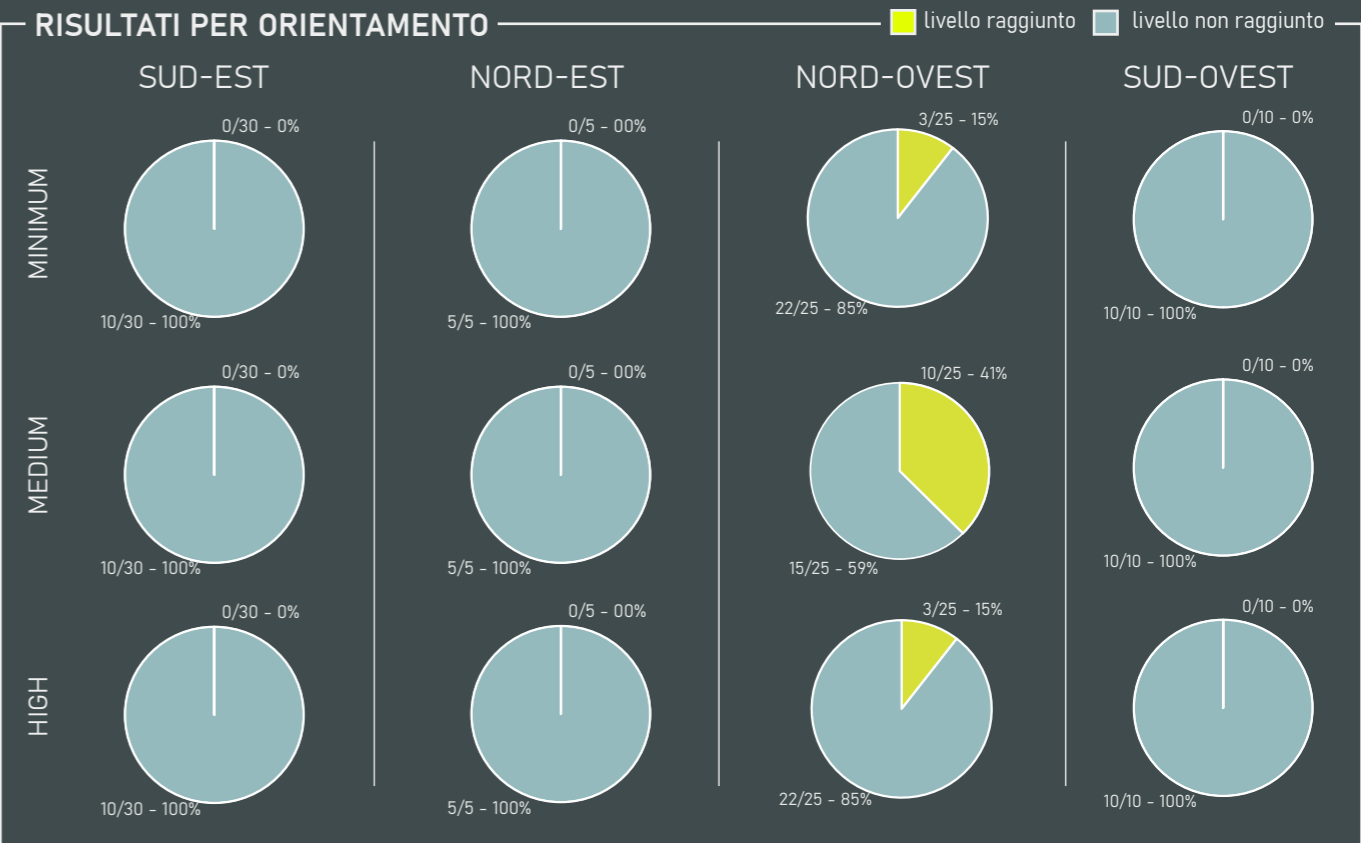
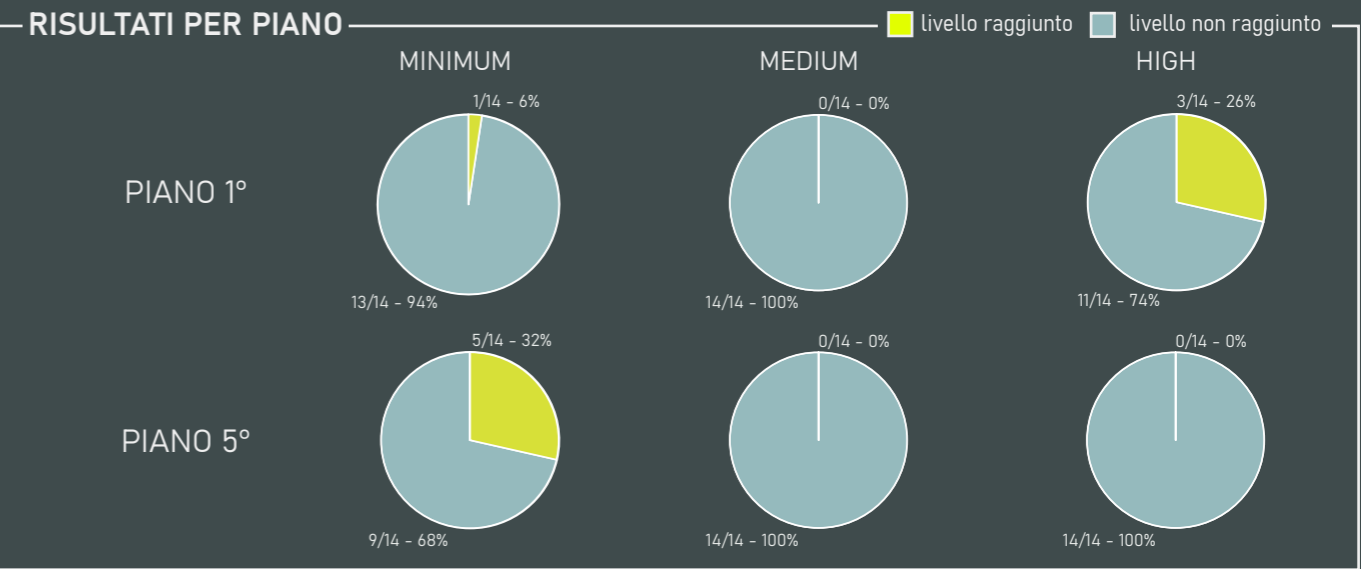
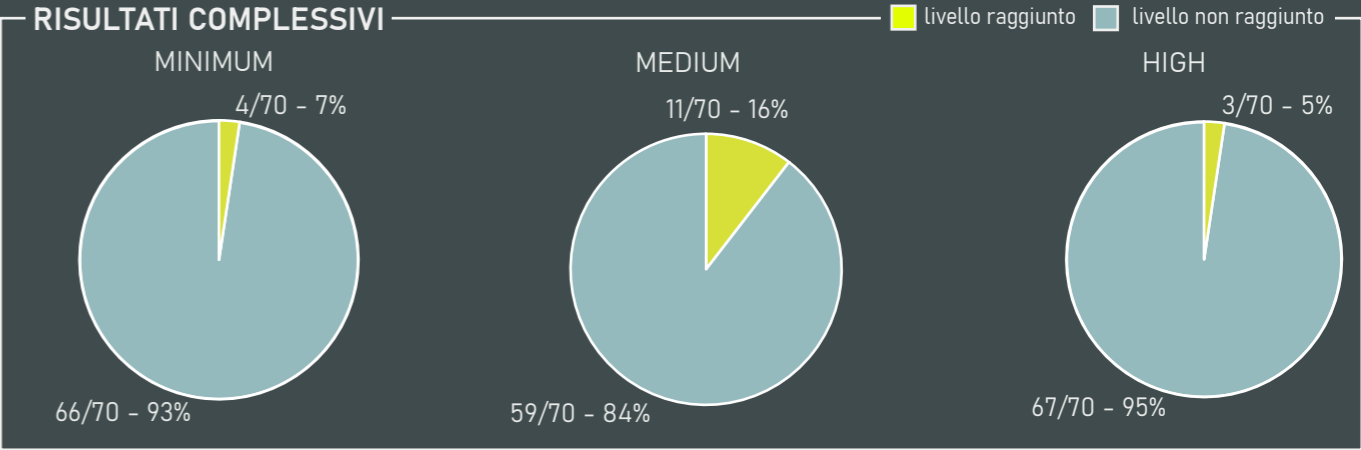
Sunlight Exposure - UNI EN 17037



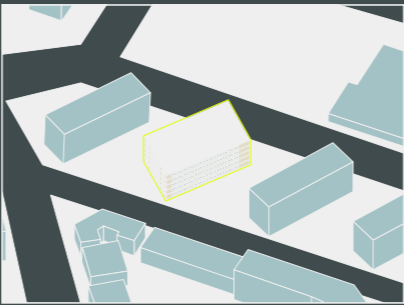
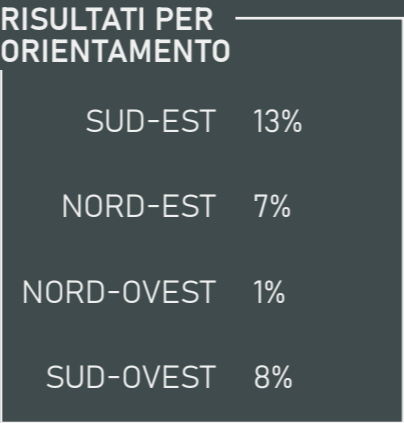
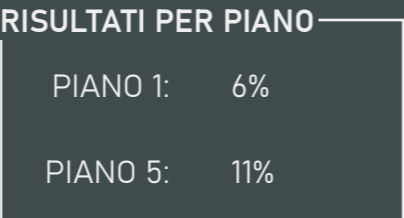
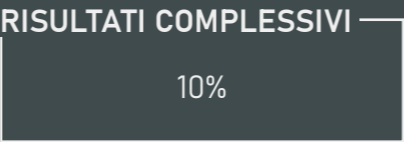
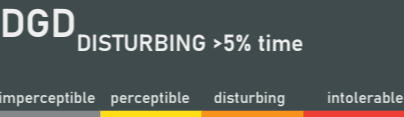
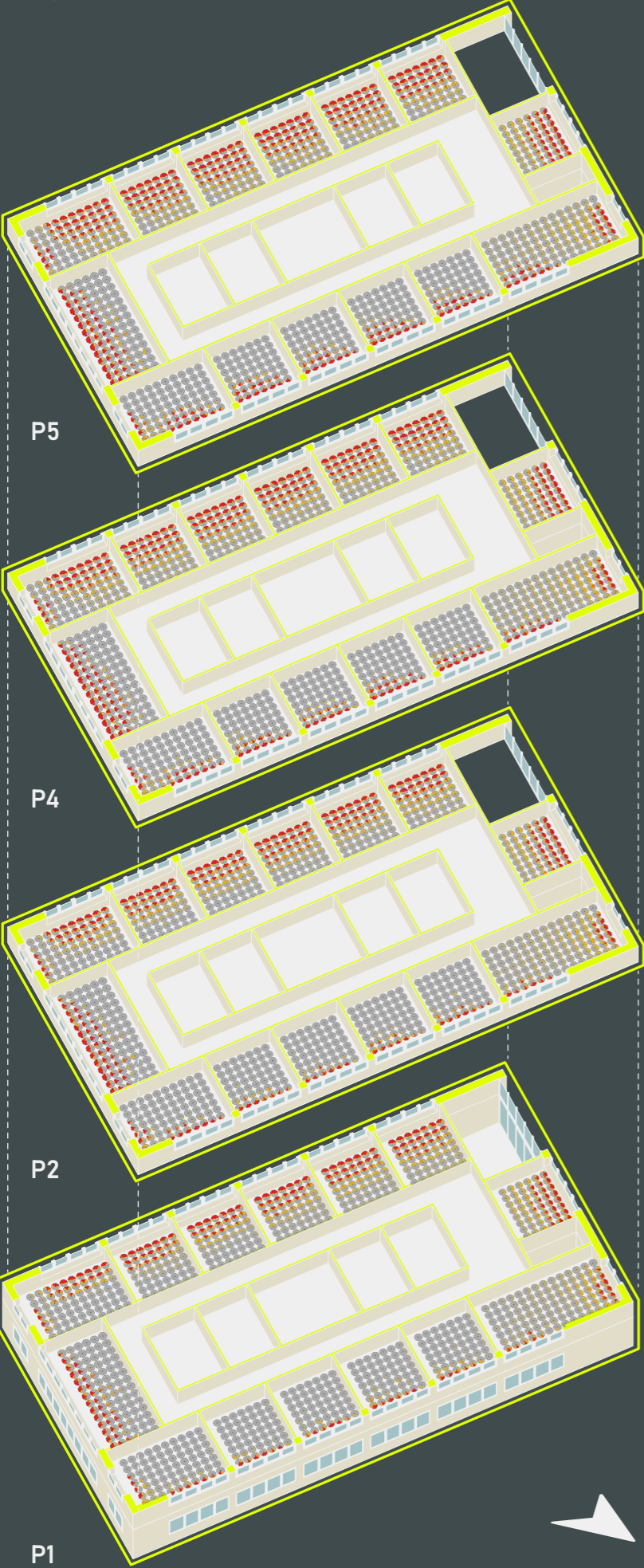
Daylight Glare NO BLINDS - IES LM83



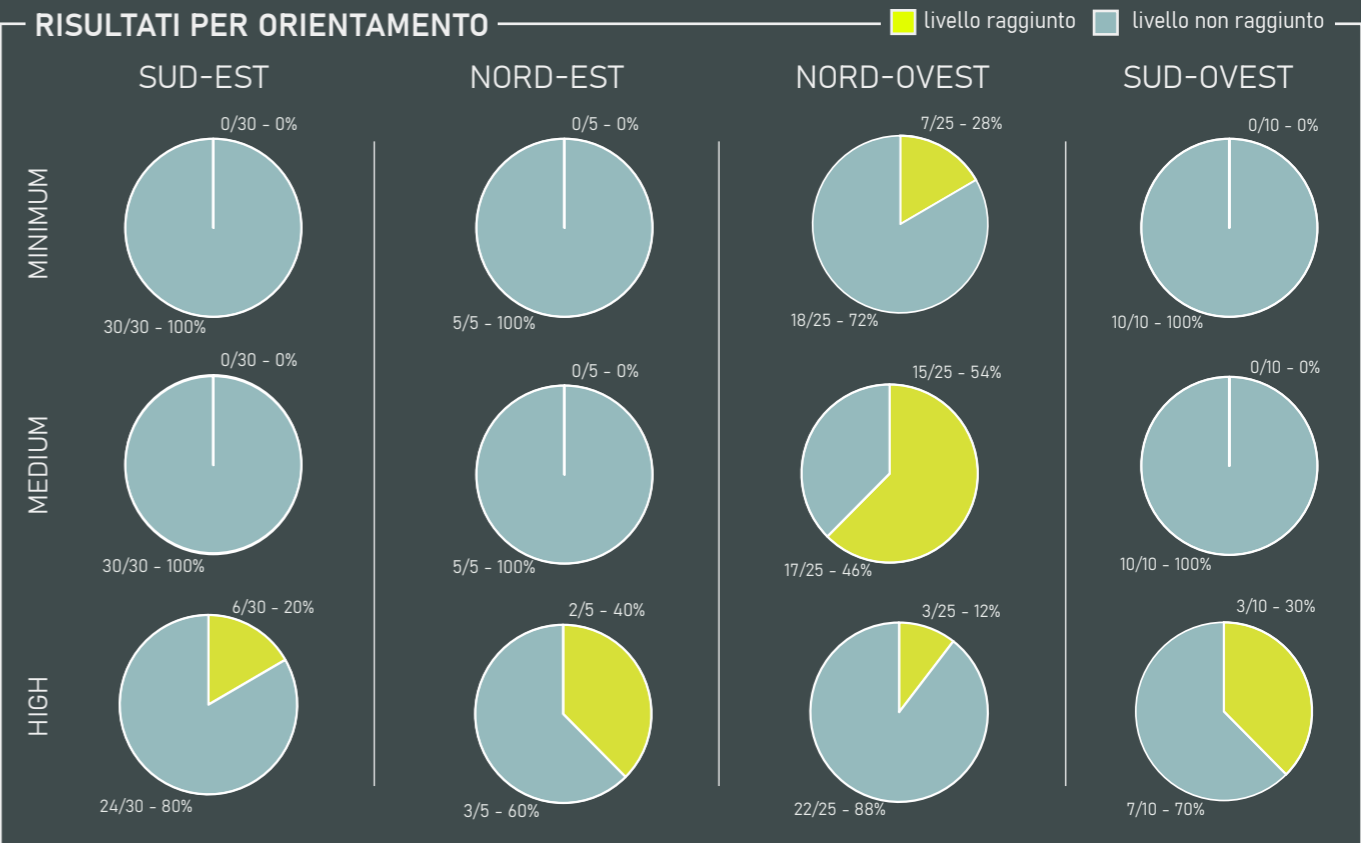
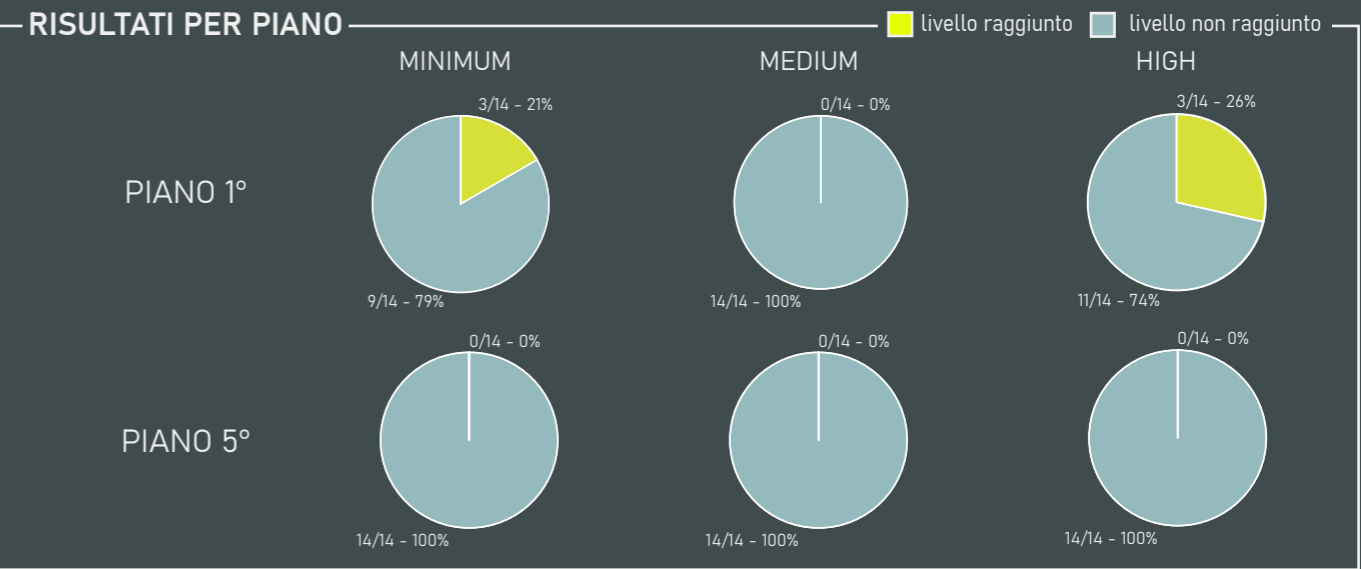
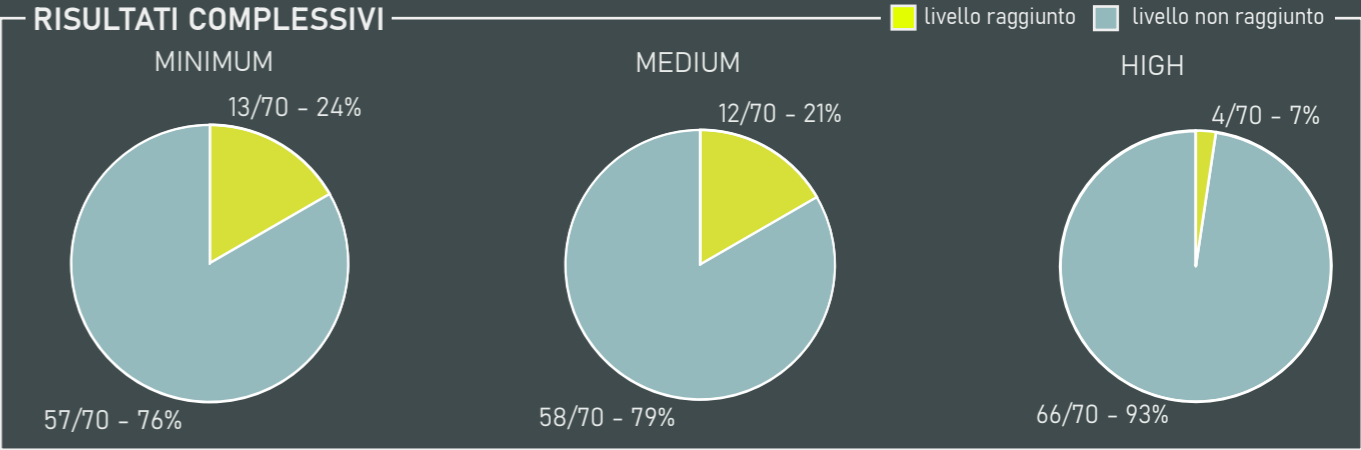
Glare Protection NO BLINDS - UNI EN 17037



Daylight Glare BLINDS - IES LM83



Glare Protection BLINDS - UNI EN 17037



## 6.4.6 UFFICI - ROMA

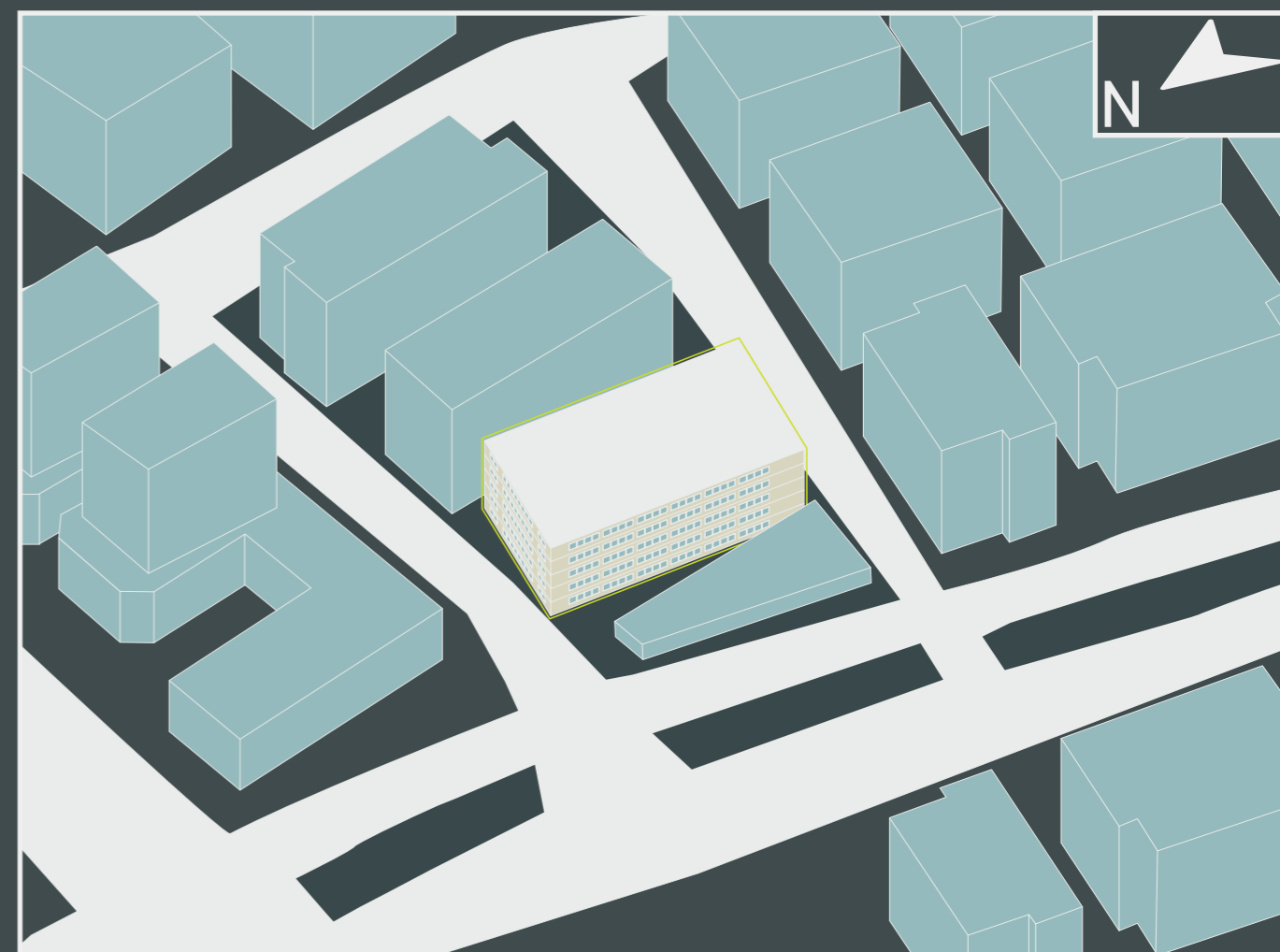
Nella città di Roma i requisiti di DP vengono rispettati per più della metà dei casi, sia in presenza che in assenza del sistema schermante.

La presenza delle ostruzioni esterne è ben visibile nei risultati degli ambienti che si affacciano in direzione di questi (est e sud). Tali ostruzioni risultano essere un fattore ancora più determinante per i risultati delle simulazioni svolte nei piani bassi.

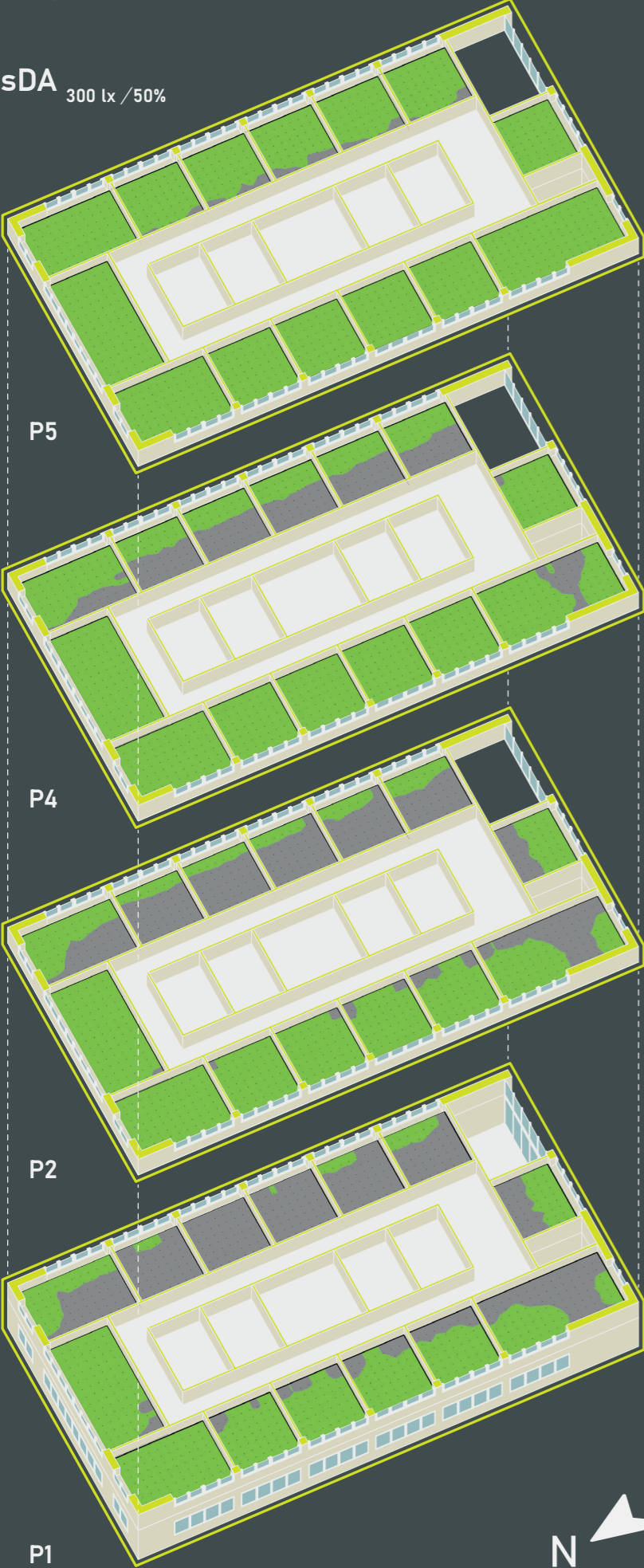
Anche la View Out Analysis risulta influenzata dalle ostruzioni esterne, tuttavia sul lato est si raggiunge il requisito minimo. Si nota altrettanto facilmente che negli orientamenti alternativi i livelli raggiunti sono consistentemente più alti.

Il requisito di SE è rispettato per la maggior parte degli ambienti, fatta esclusione degli ambienti esposti a nord. Anche in questo requisito la presenza delle ostruzioni esterne abbassa di un livello il requisito degli ambienti esposti ad est e li rende non verificati nei piani più bassi. Il numero di ambienti in cui il requisito è rispettato è comunque elevato.

Per il requisito di GP si dimostra essenziale l'utilizzo del sistema oscurante sia nella vista a 90° che in quella a 45°. Grazie ad esso, infatti, il requisito raggiunge un livello tollerabile in tutti gli ambienti considerati. Senza utilizzo di tenda le facciate esposte a sud ed est si dimostrano essere le più a rischio, raggiungendo un alto livello di potenziale abbagliamento.



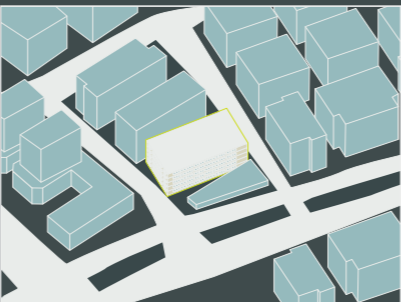
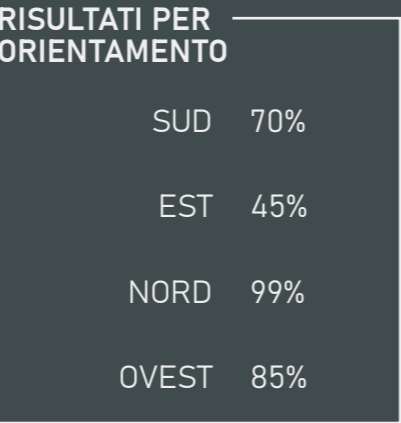
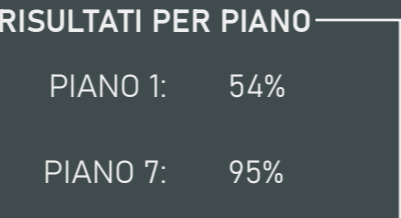
Daylight Provision NO BLINDS - IES LM83



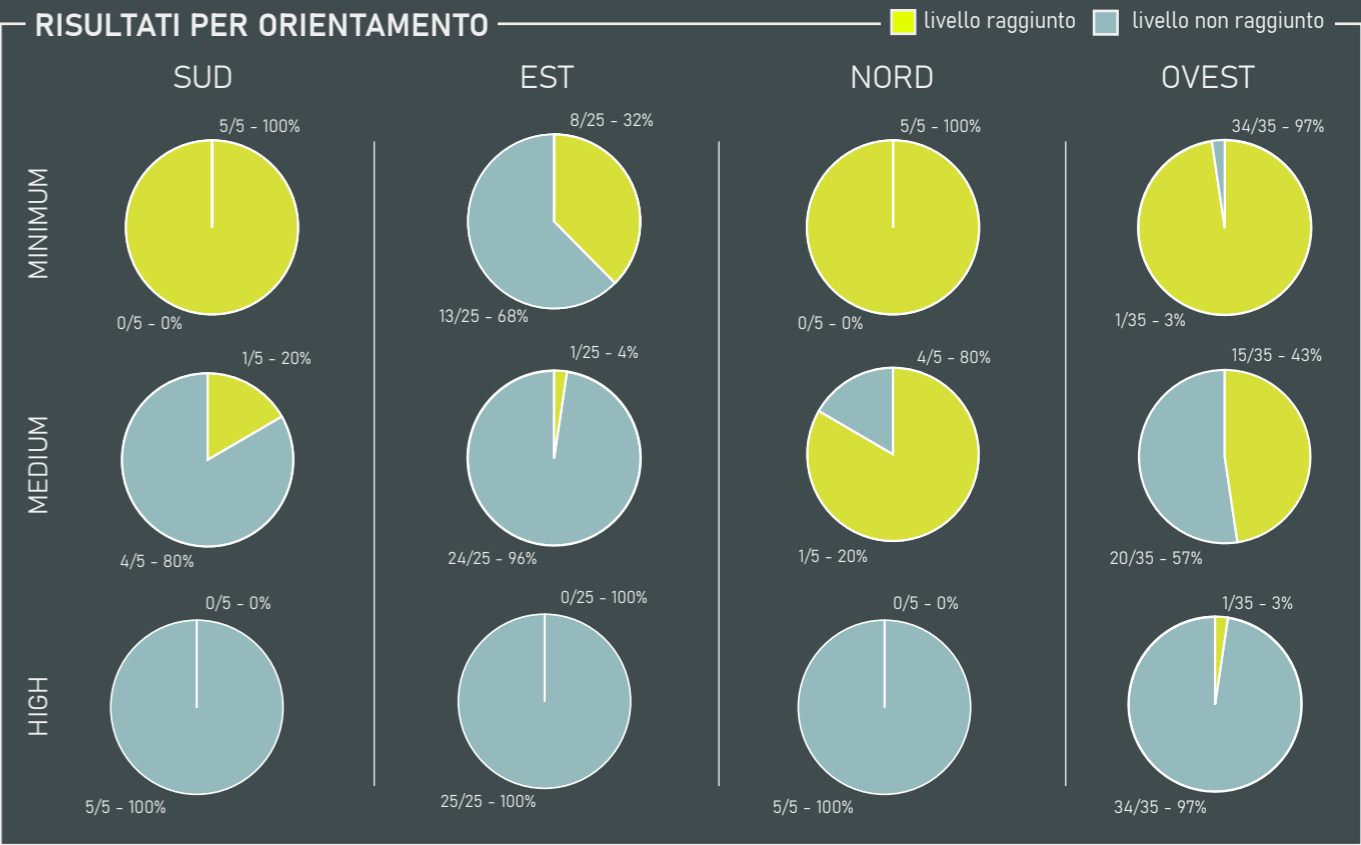
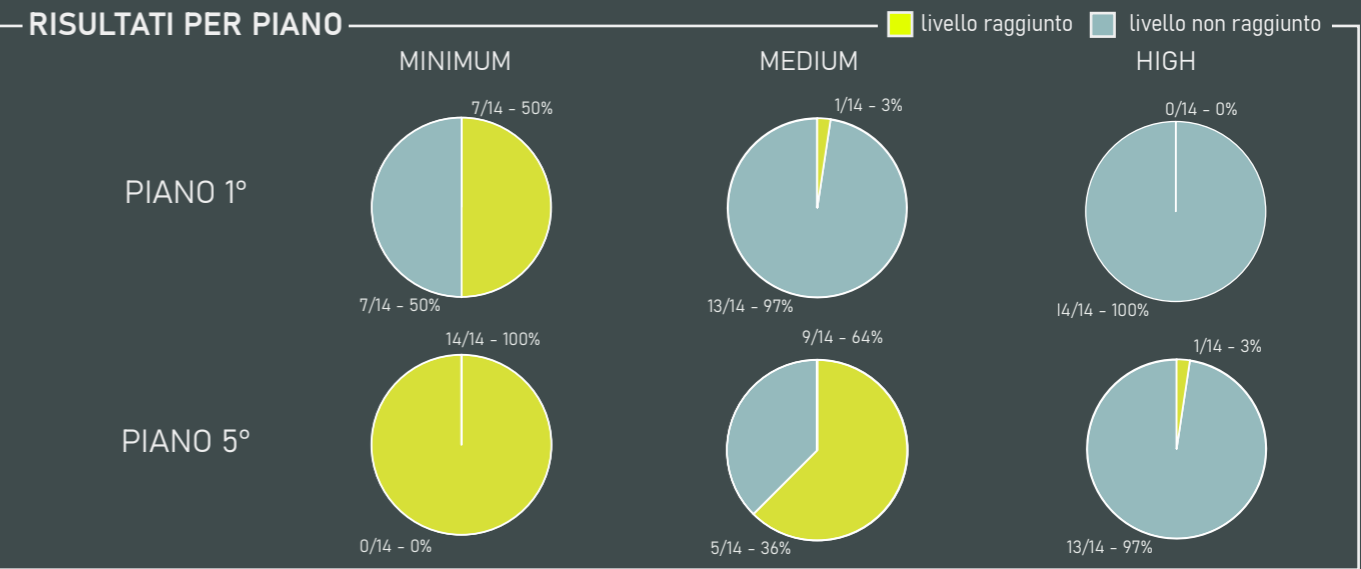
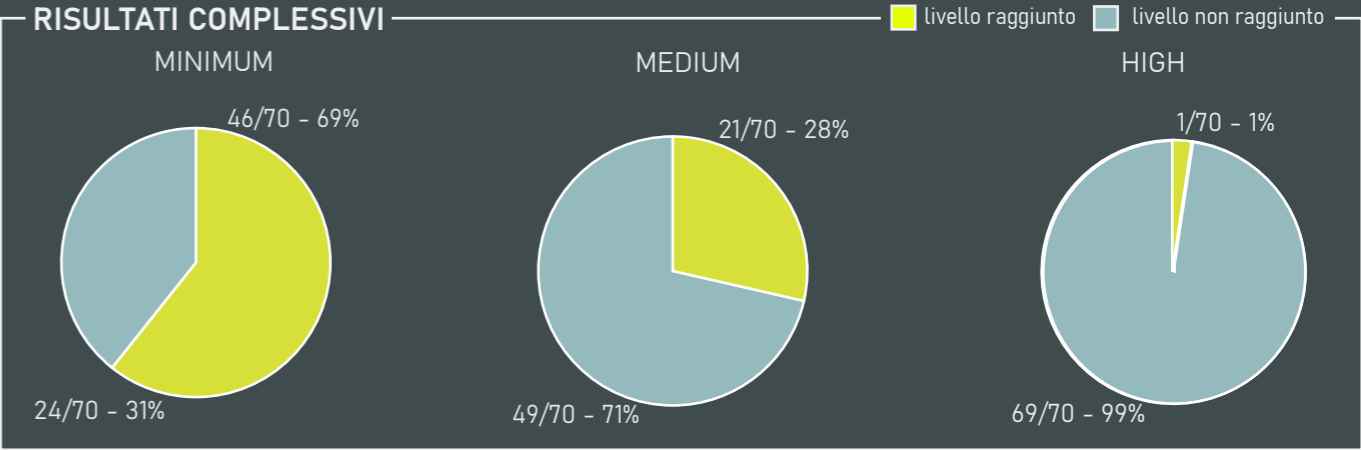
sDA 300 lx / 50%

sDA 300 lx / 50%

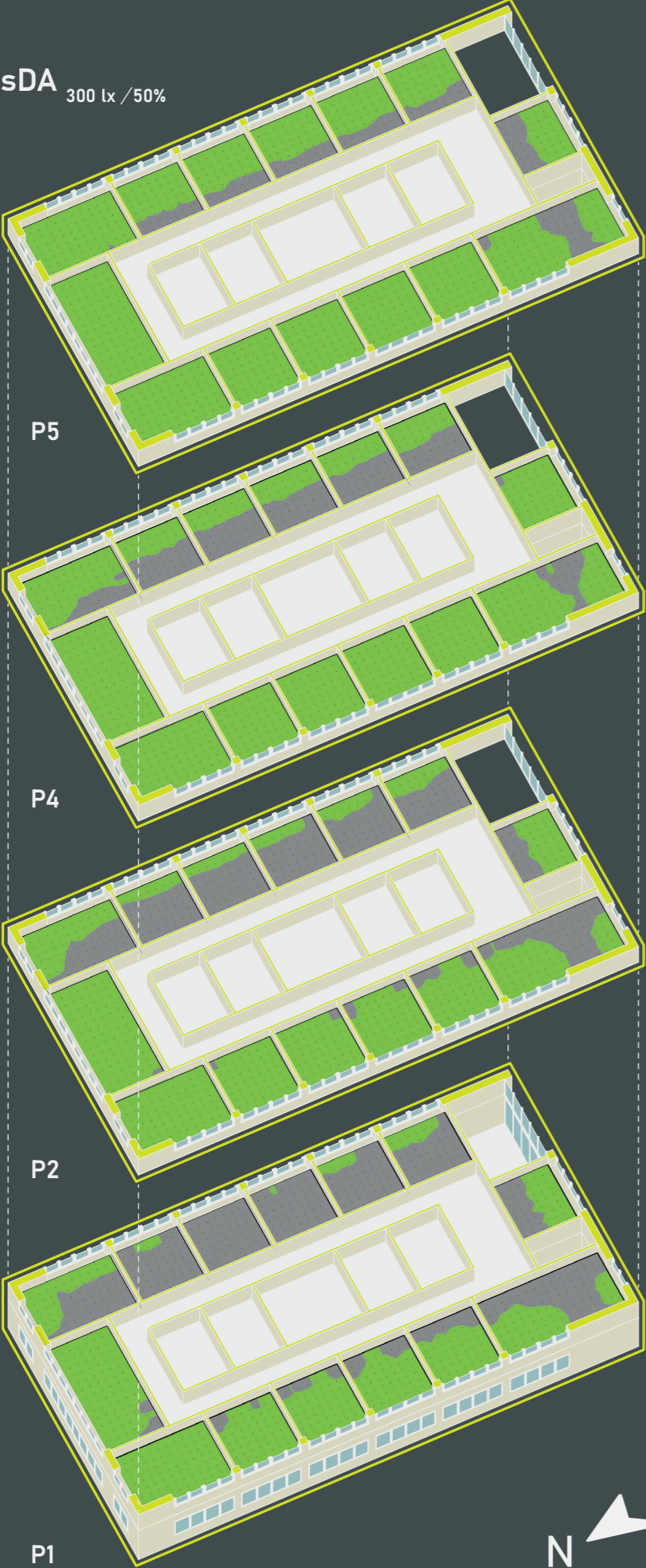
0 50% 100%



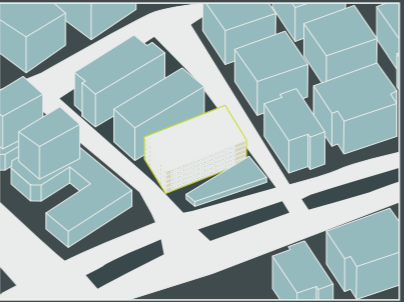
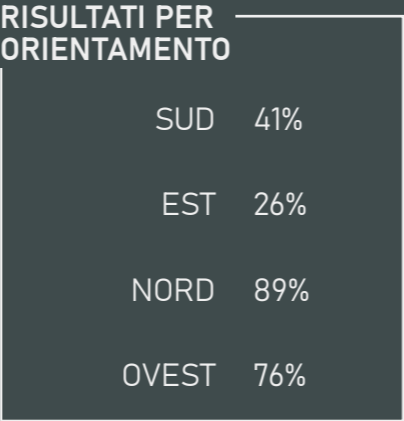
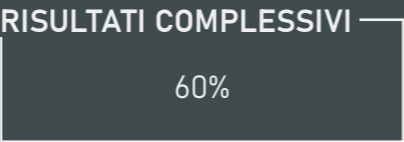
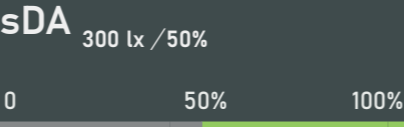
Daylight Provision NO BLINDS - UNI EN 17037



Daylight Provision BLINDS - IES LM83

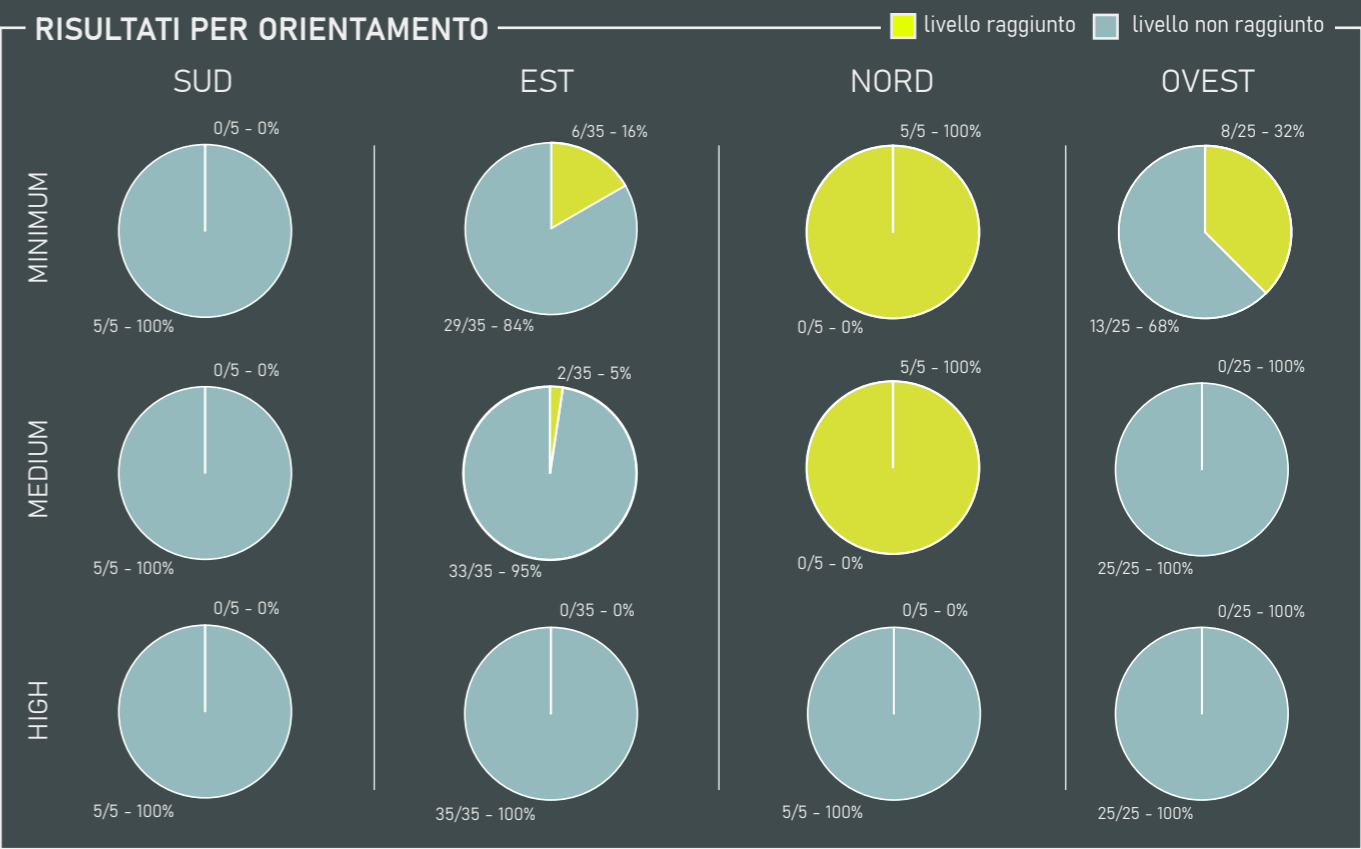
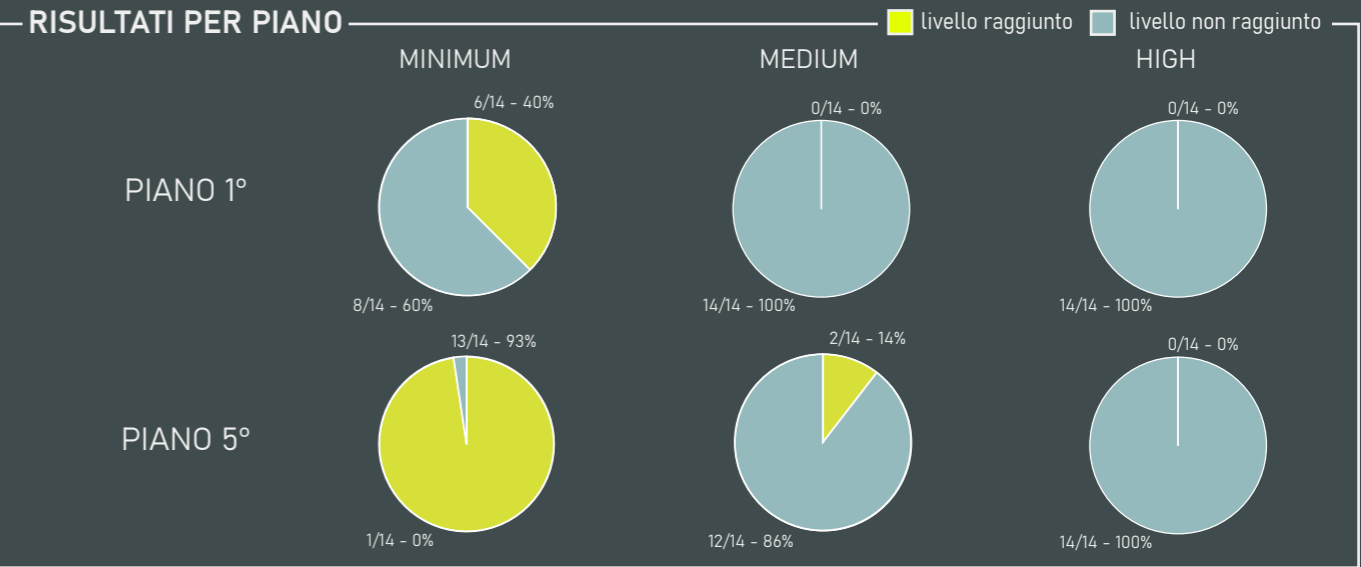
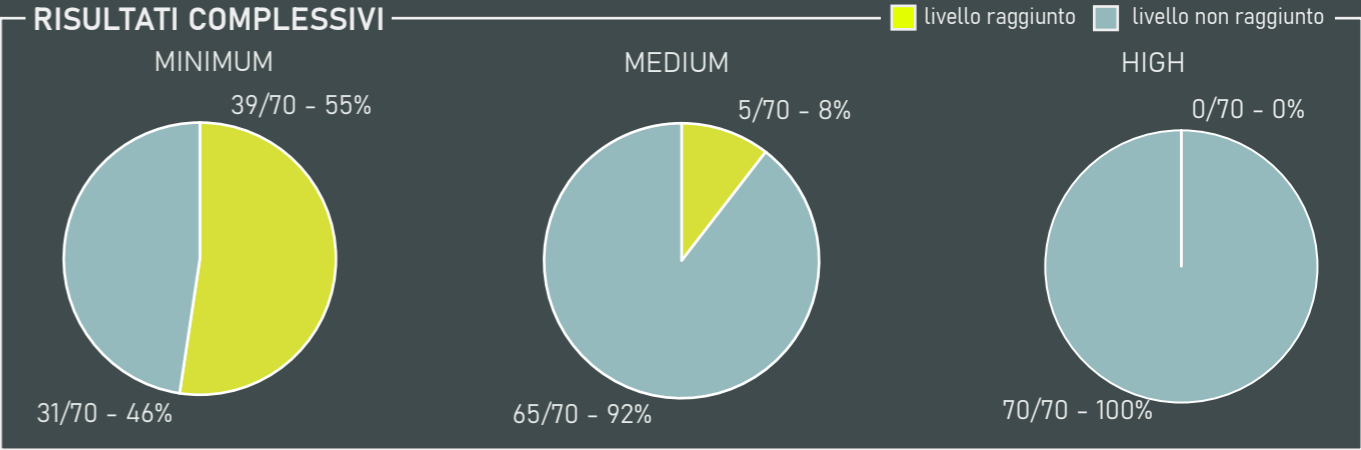


sDA 300 lx / 50%

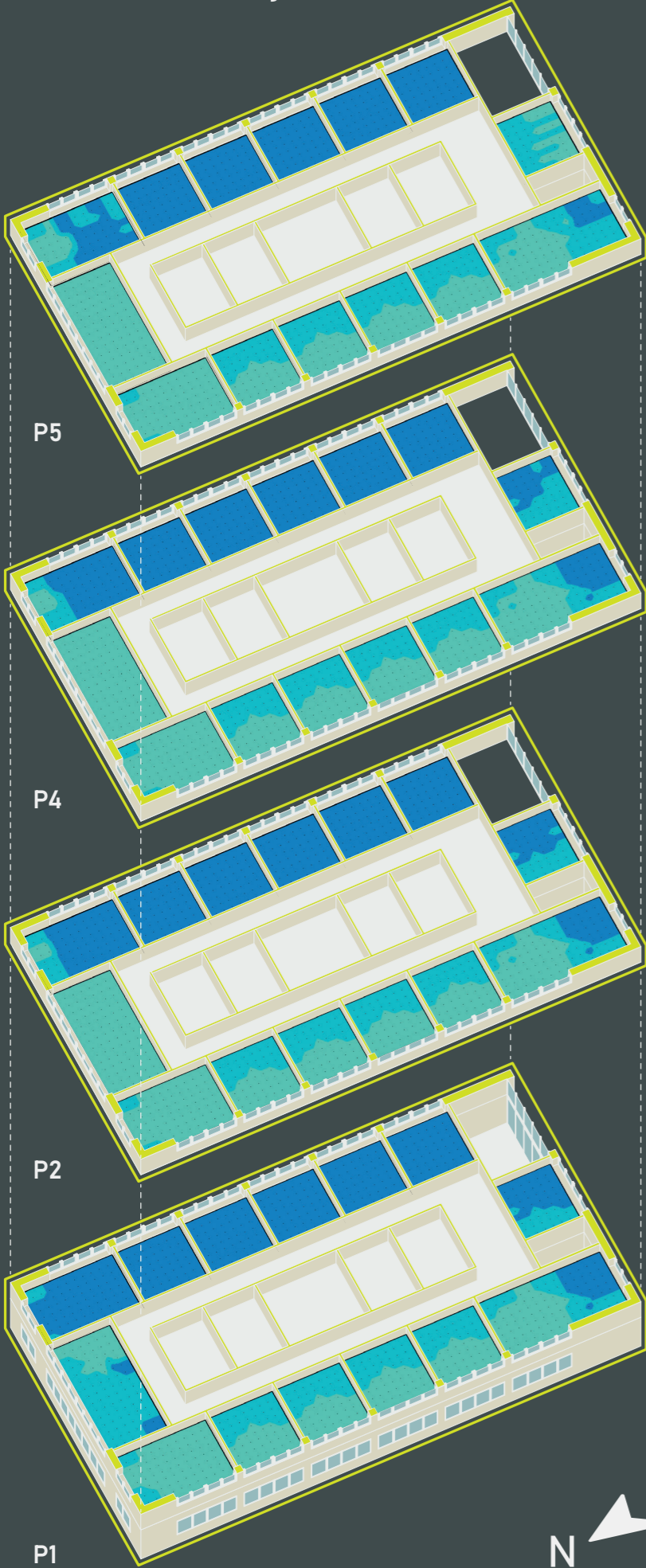


P1

Daylight Provision BLINDS - UNI EN 17037

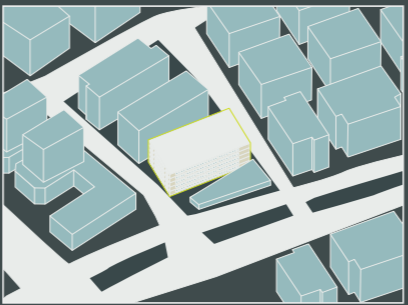


View Out Analysis - UNI EN 17037

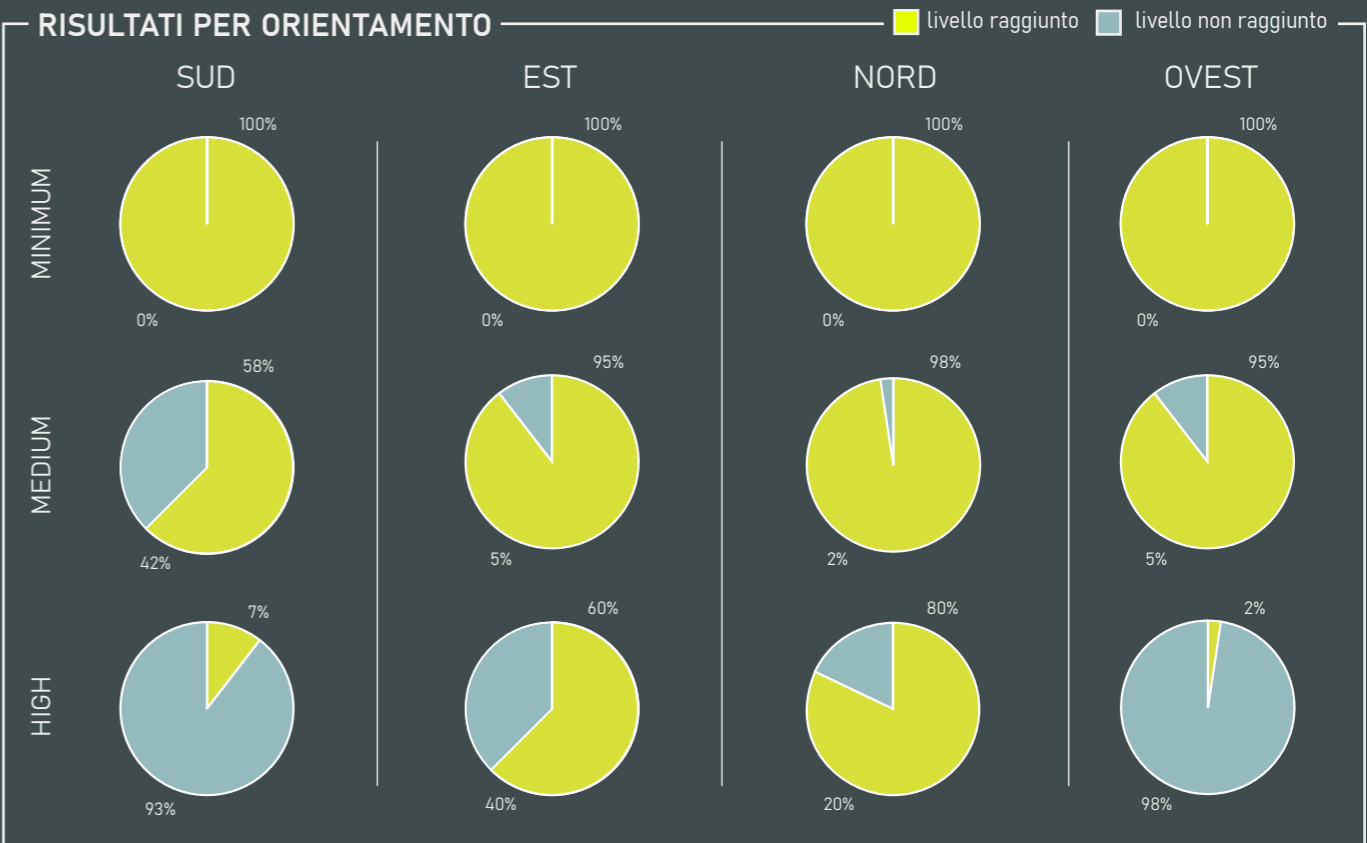
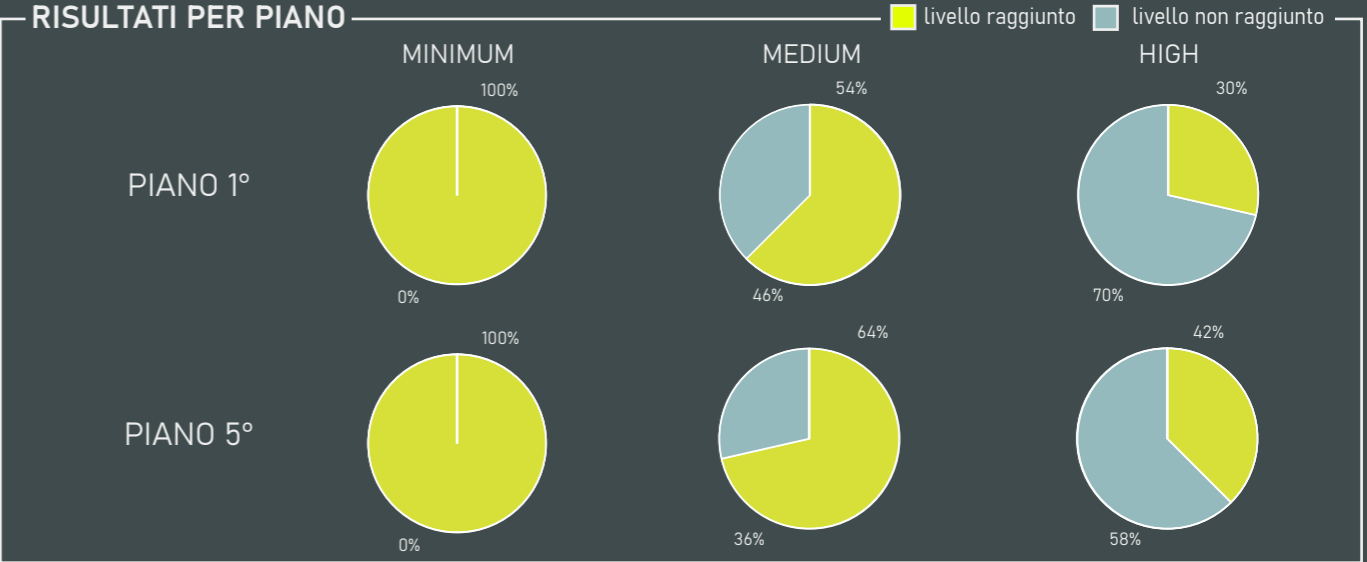
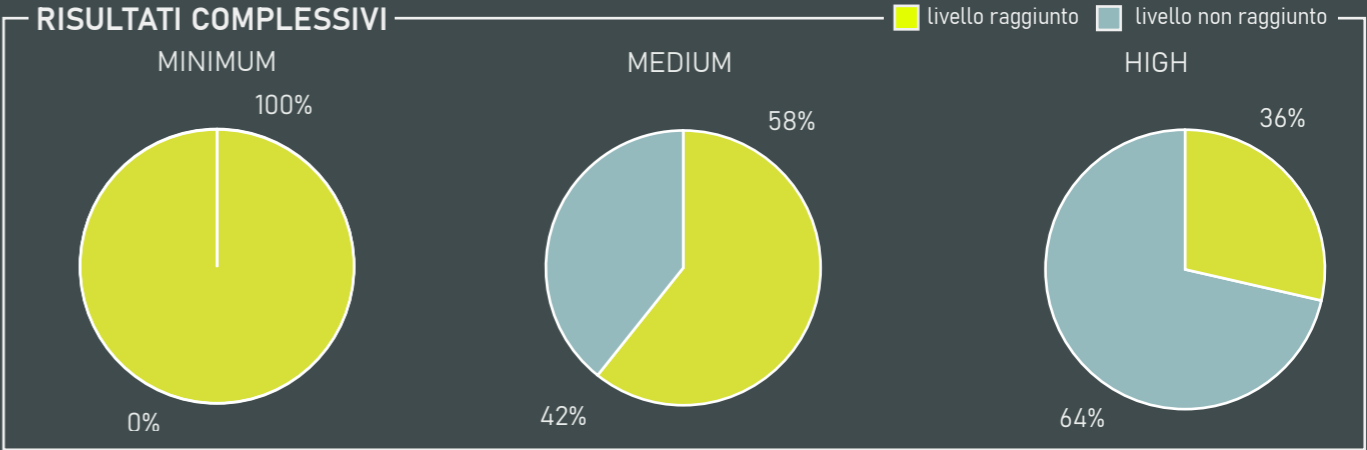


View Out Analysis

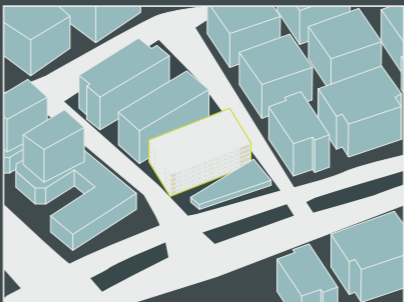
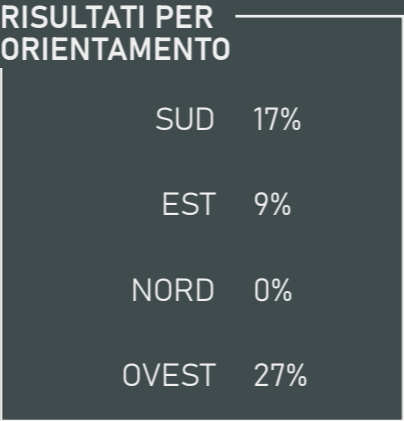
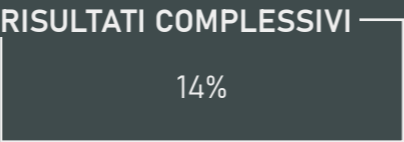
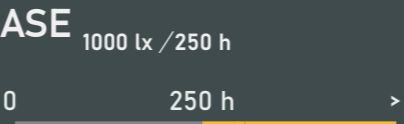
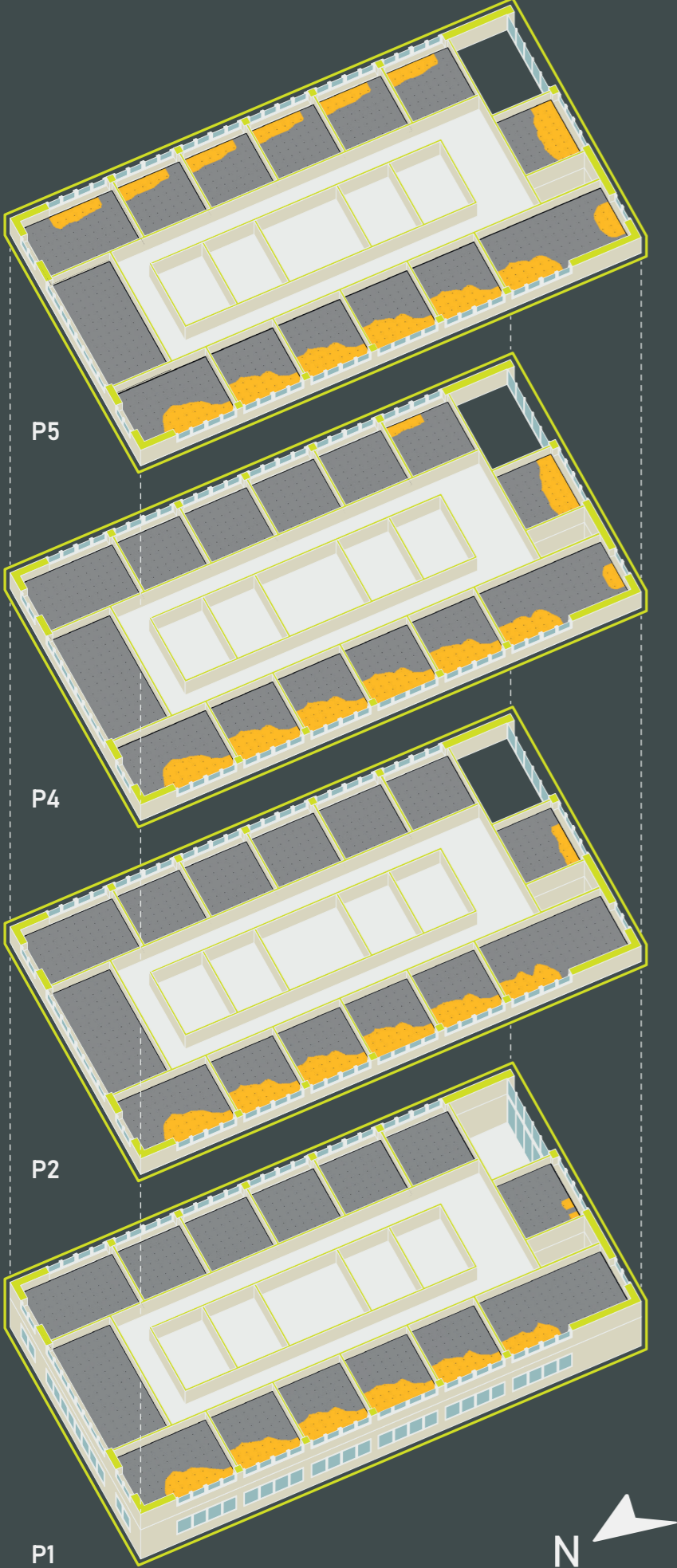
fail minimum medium high



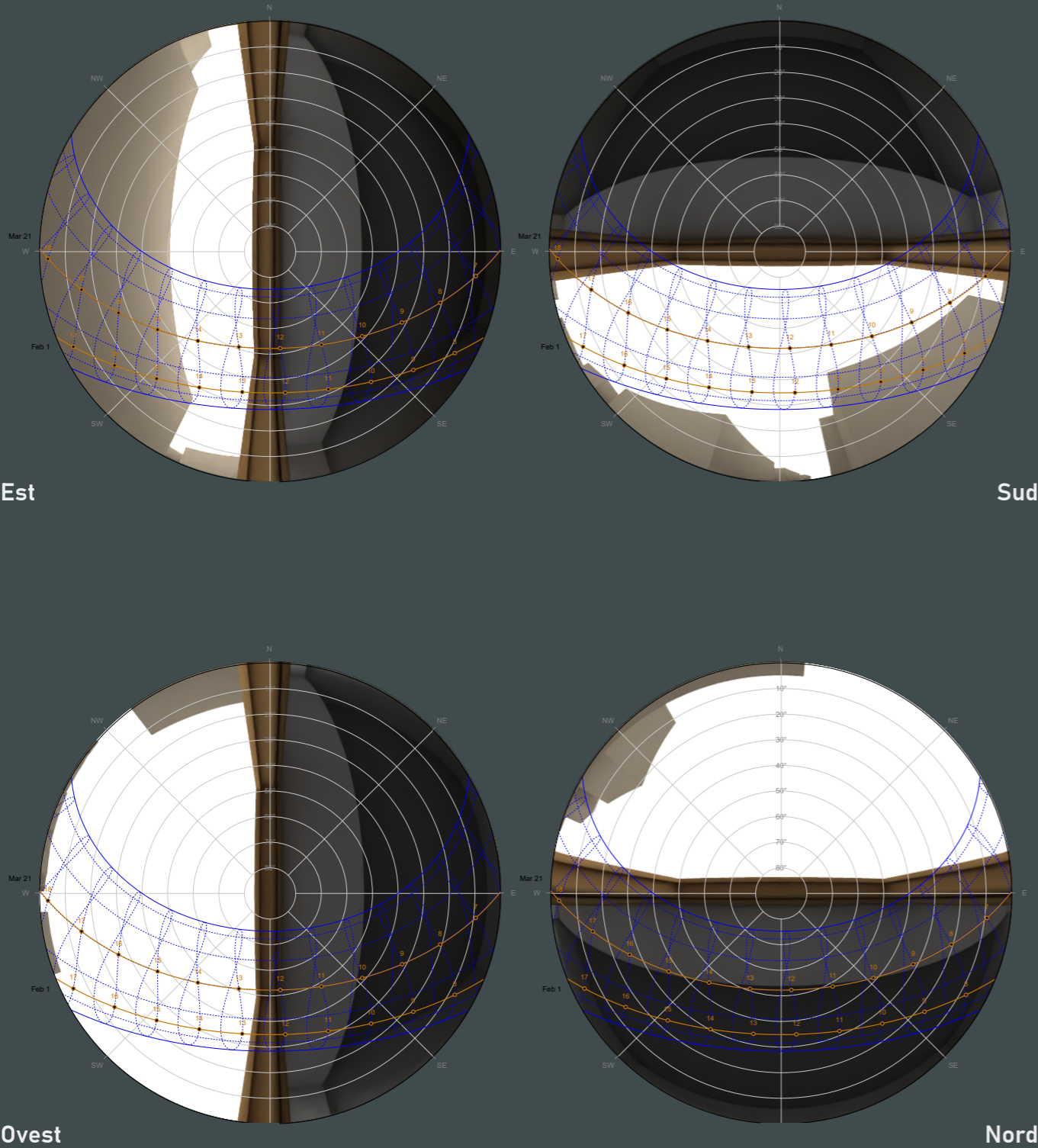
View Out Analysis - UNI EN 17037



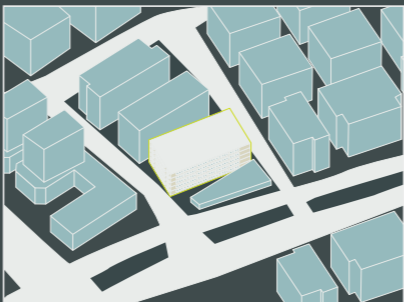
Annual Sunlight Exposure - IES LM83



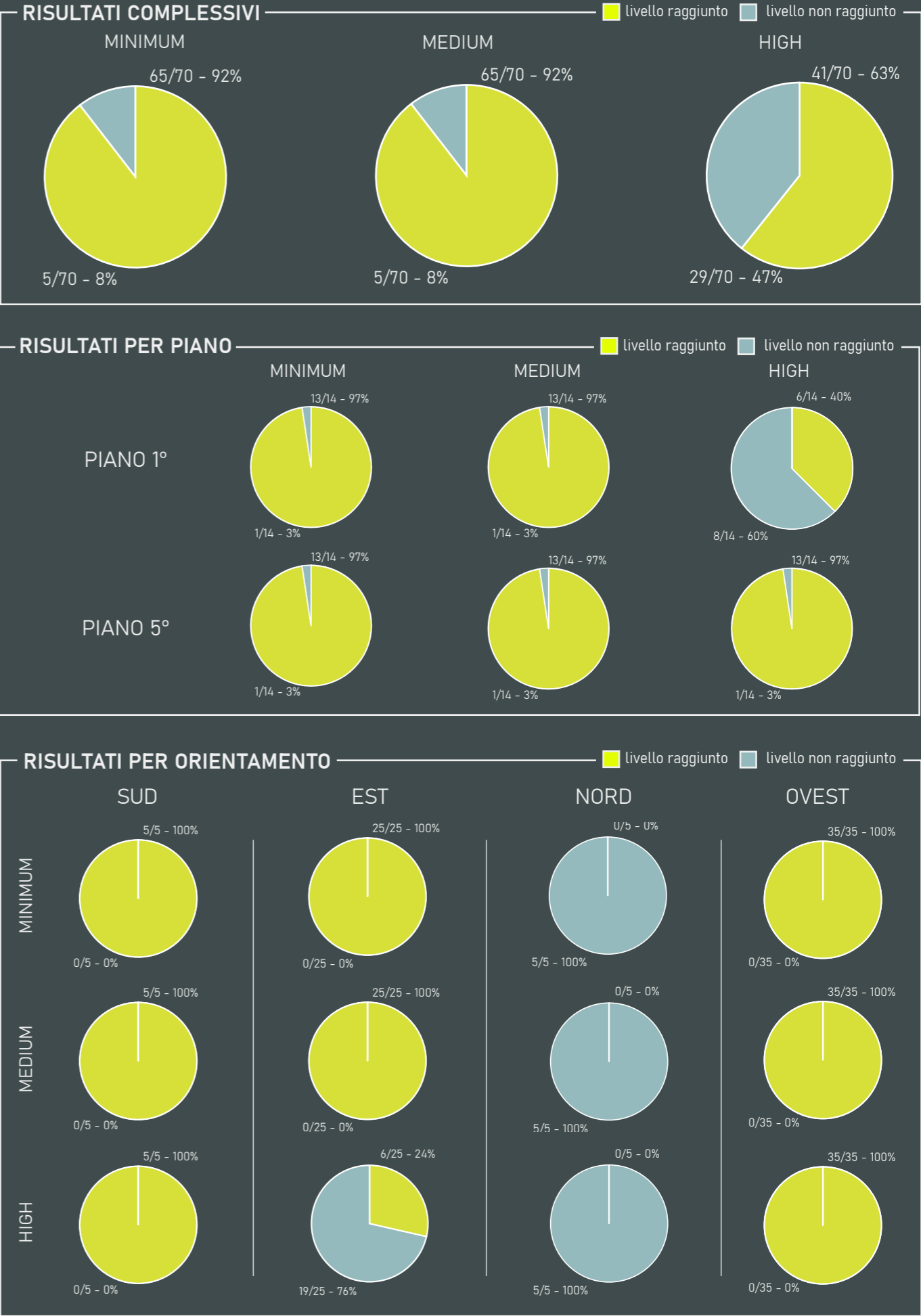
Sunlight Exposure - UNI EN 17037



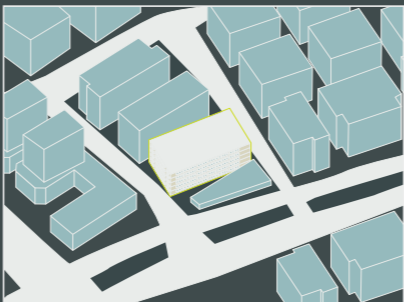
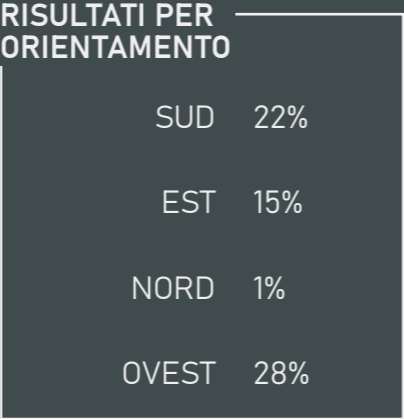
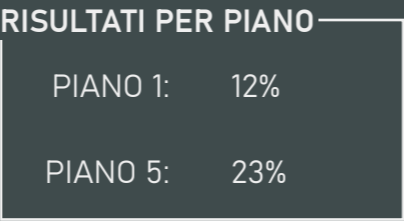
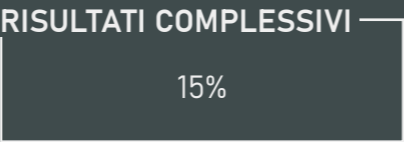
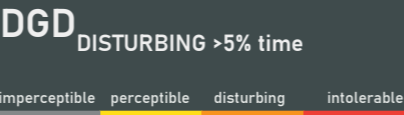
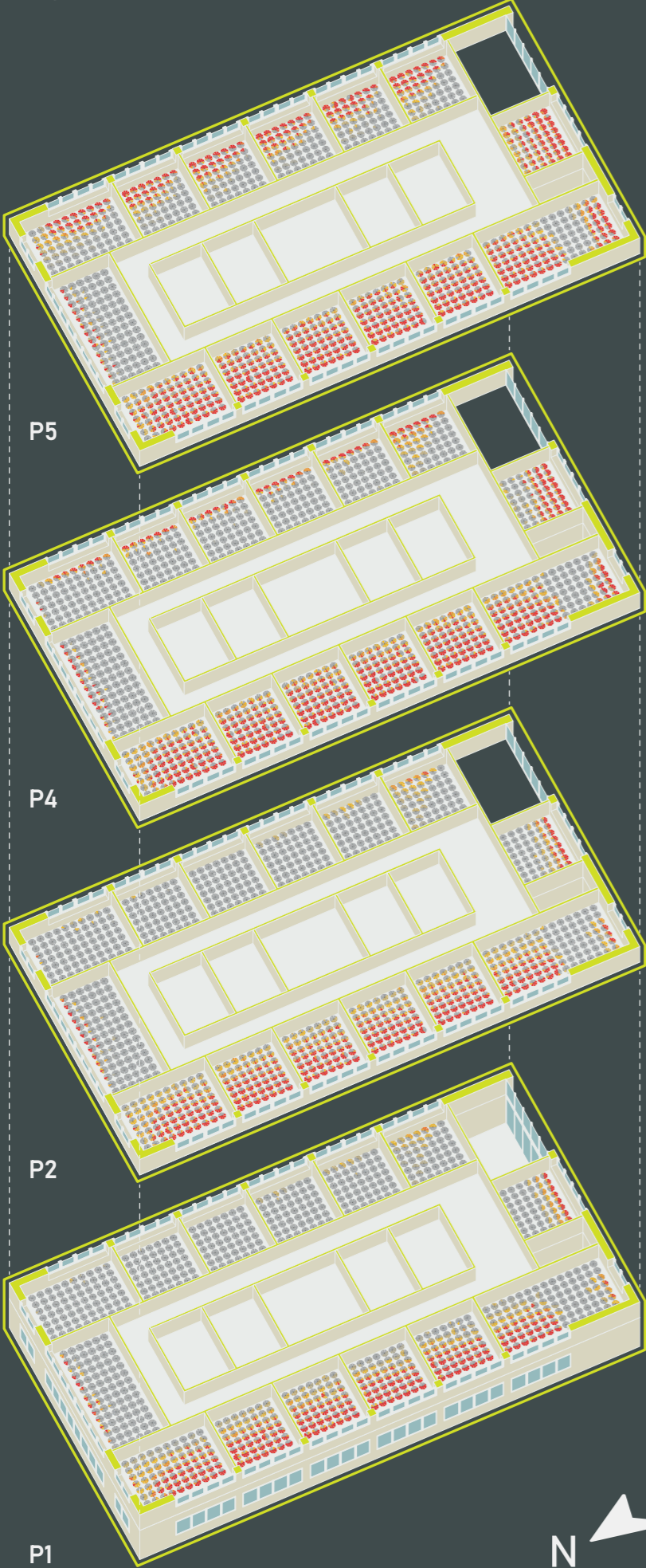
Immagini relative al primo piano



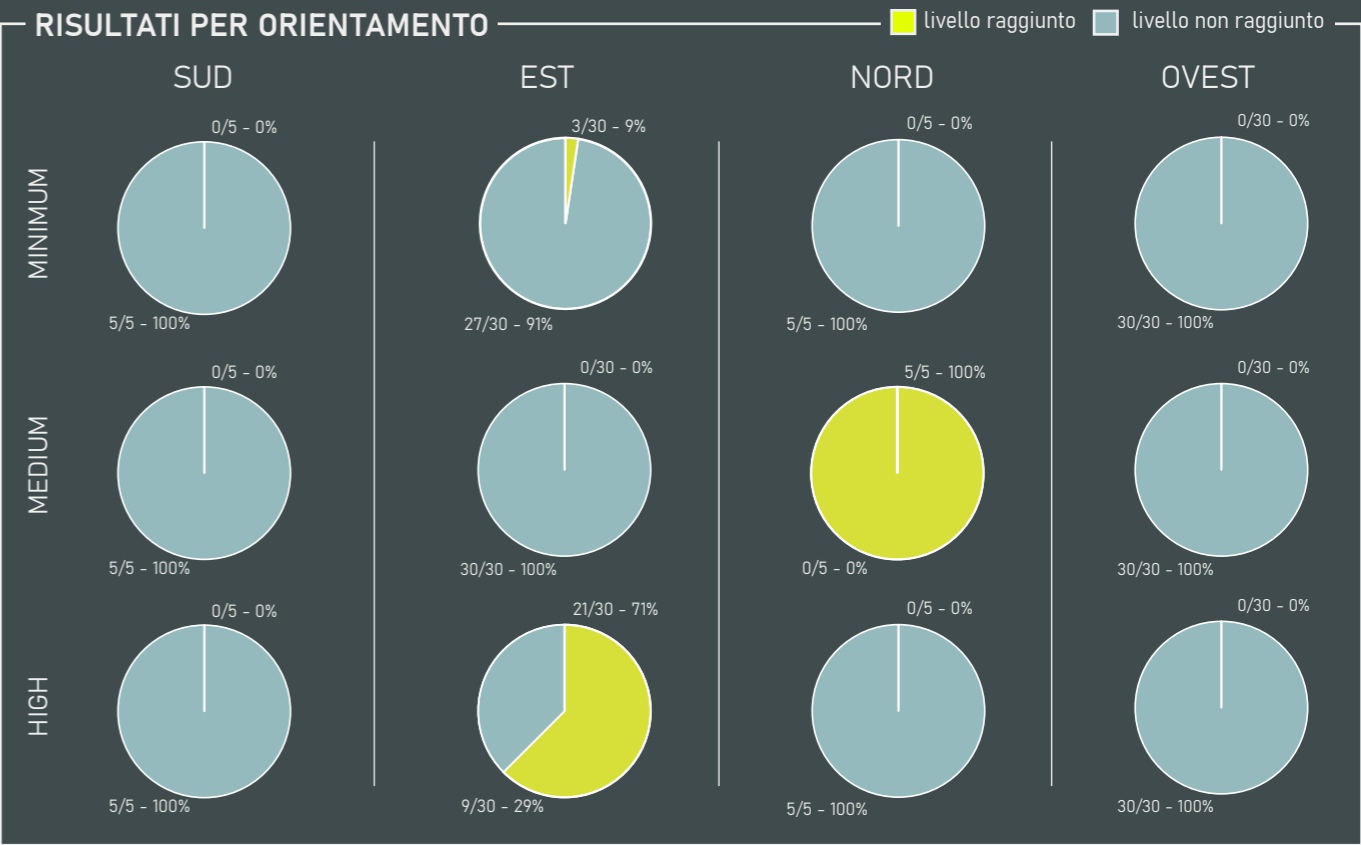
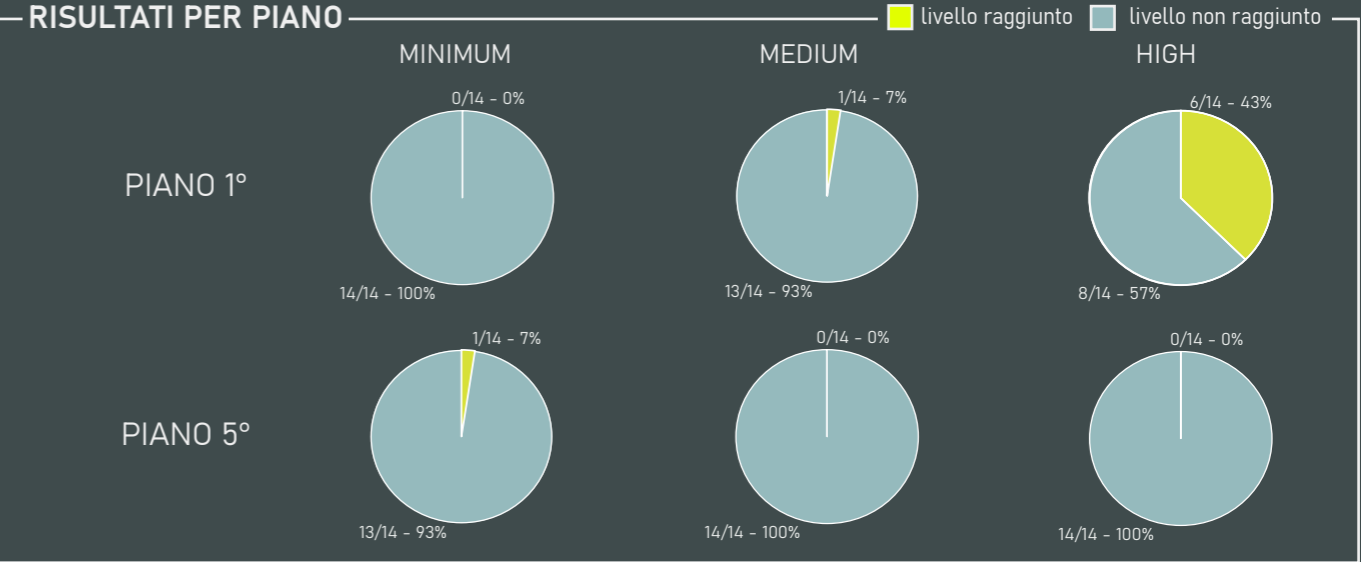
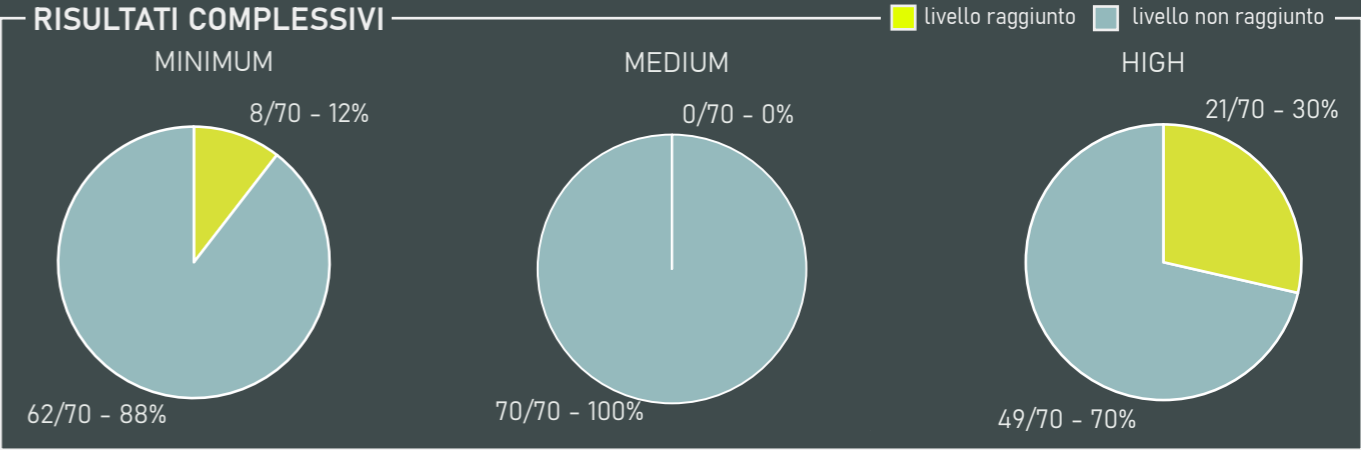
Sunlight Exposure - UNI EN 17037



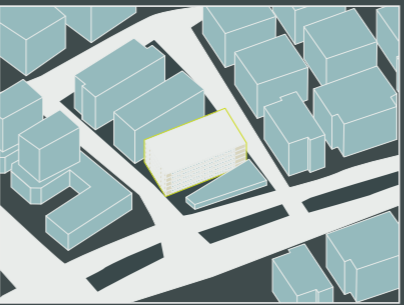
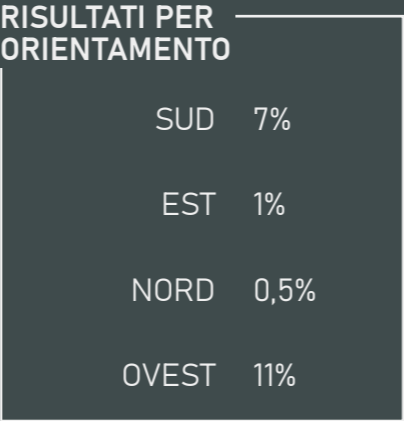
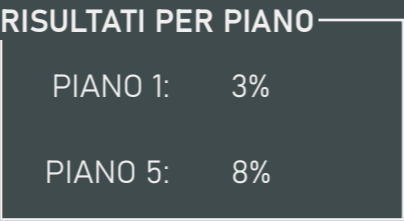
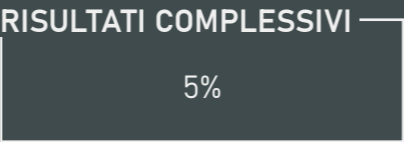
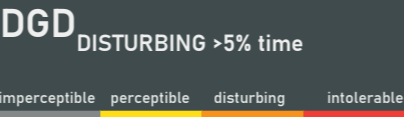
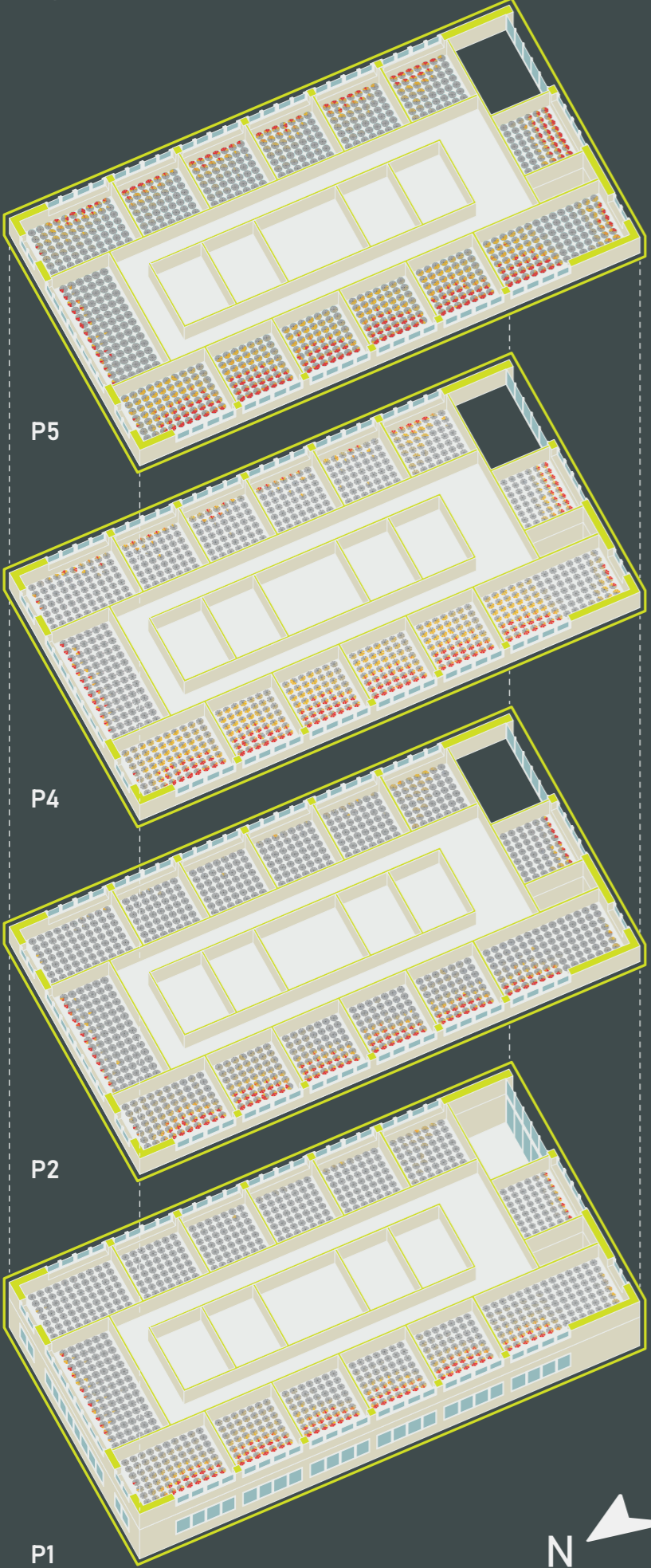
Daylight Glare NO BLINDS - IES LM83



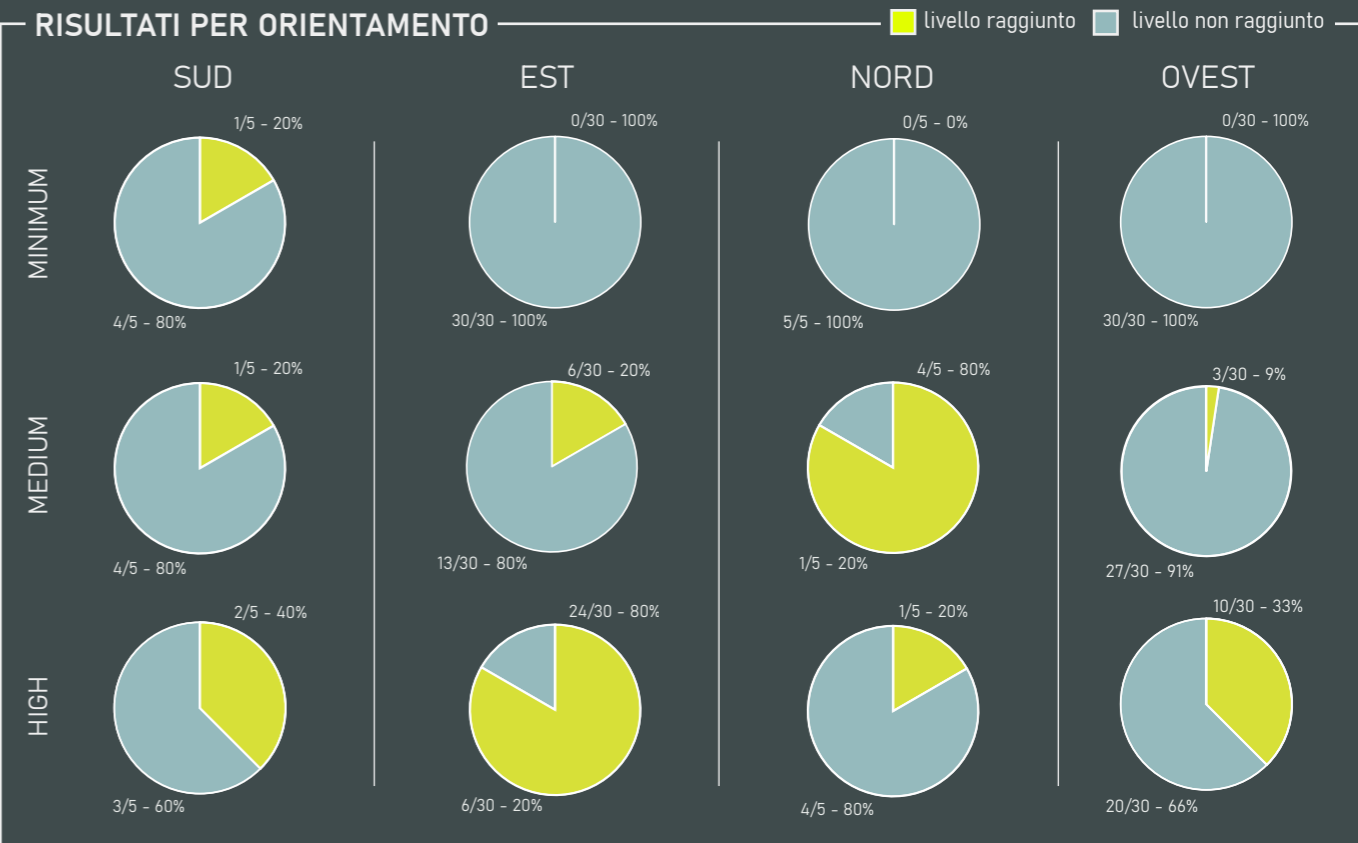
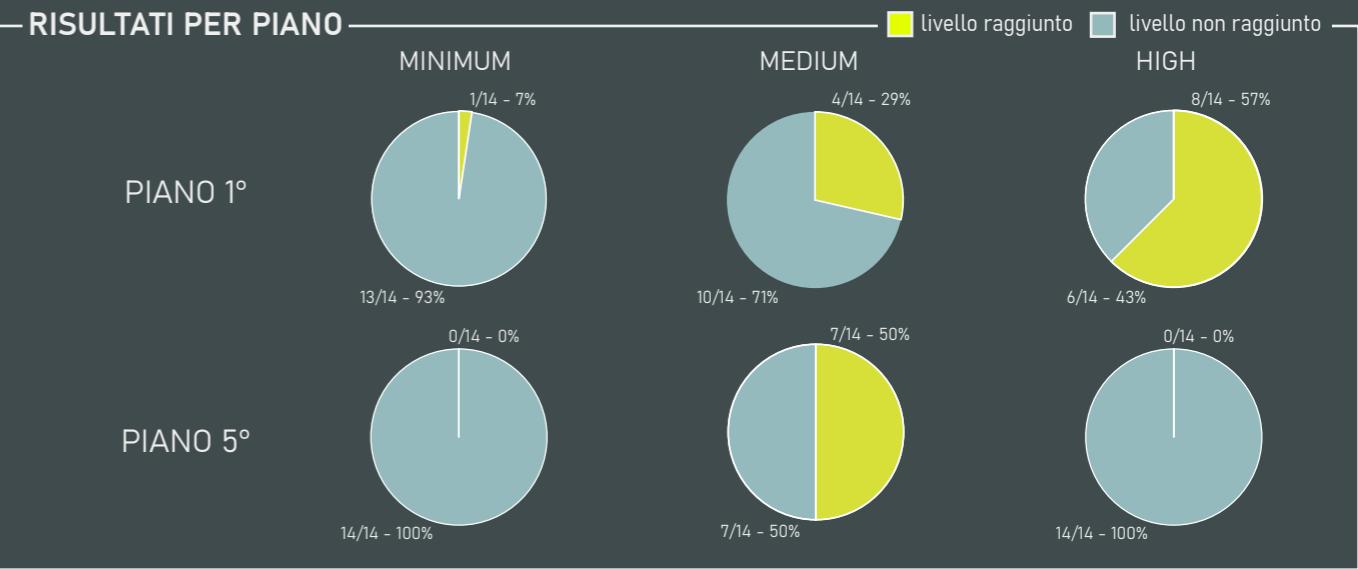
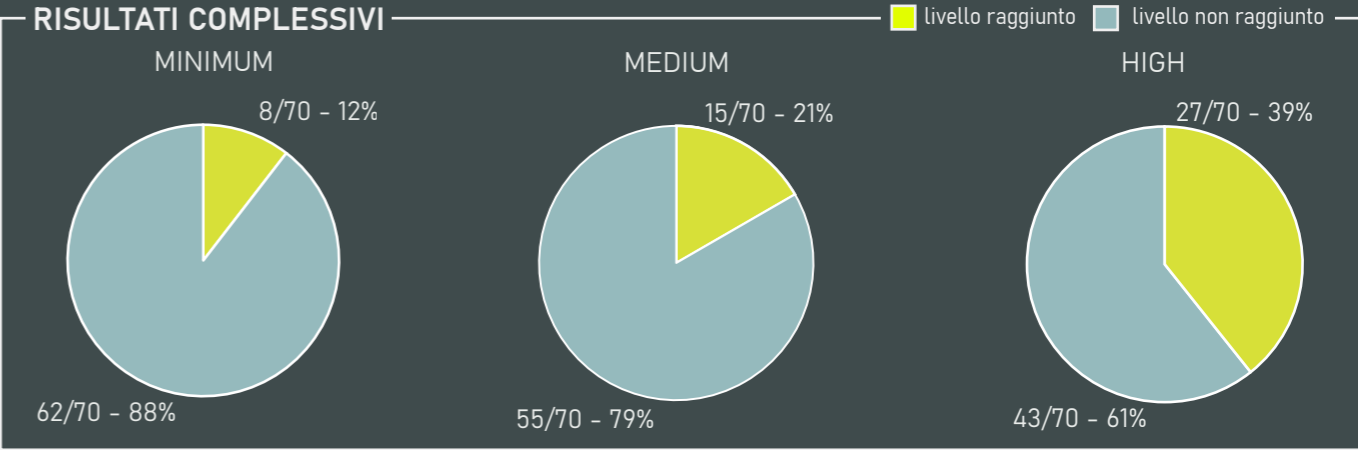
Glare Protection NO BLINDS - UNI EN 17037



Daylight Glare BLINDS - IES LM83



Glare Protection BLINDS - UNI EN 17037



## 6.4.7 UFFICI - PALERMO

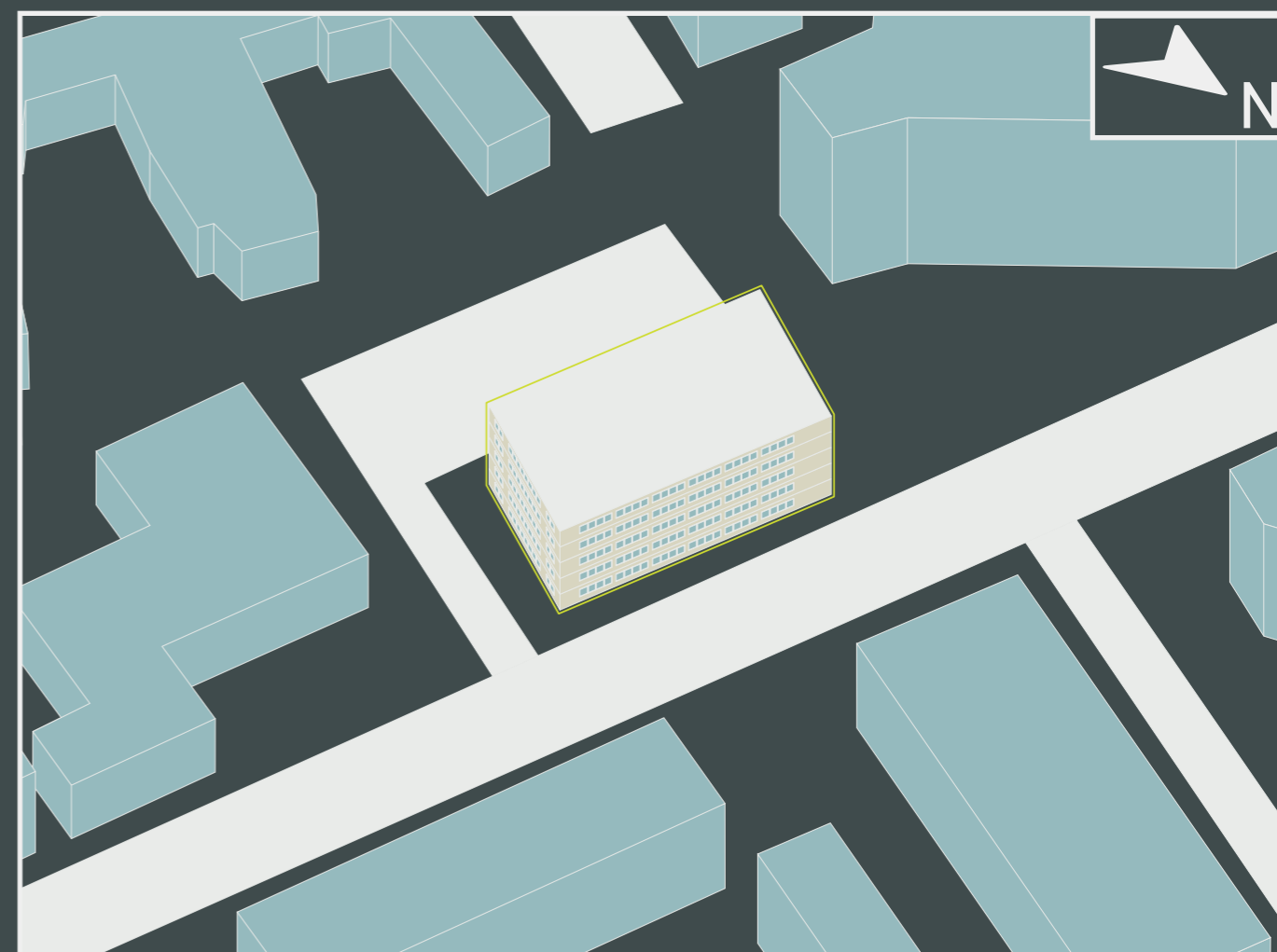
Nella città di Palermo viene rispettato il livello minimo del requisito di DP in quasi tutti gli ambienti analizzati, indipendentemente dalla presenza del sistema schermante.

Per questo requisito quindi il riscontro è alquanto positivo, anche se il raggiungimento dei livelli medim e high avviene soltanto per pochi ambienti ai piani alti della palazzina.

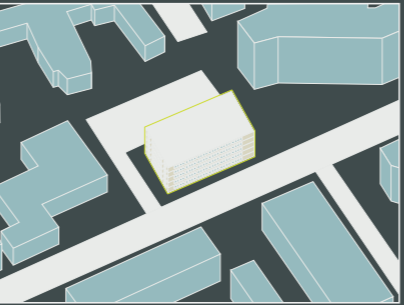
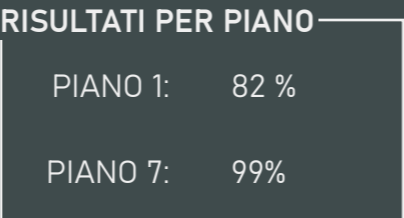
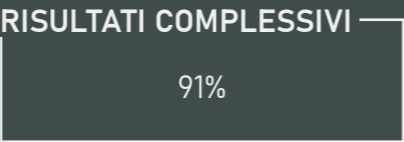
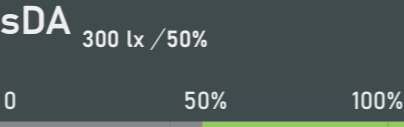
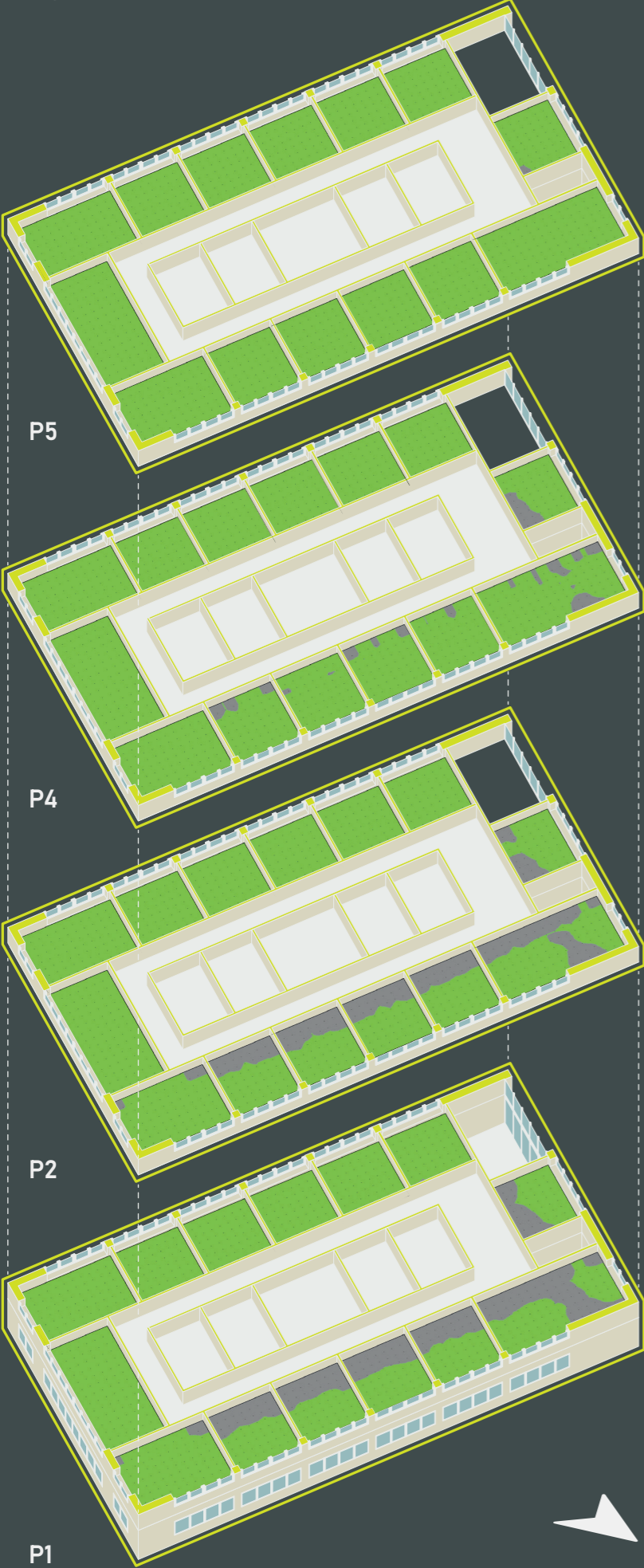
La View Out Analysis si dimostra raggiungere buoni livelli in tutti gli ambienti, non presentando casi di fail. Il risultato è influenzato da un contesto con ostruzioni poco ravvicinate e dimensioni degli ambienti contenute.

Il requisito della SE viene rispettato per gli uffici che si affacciano ad est, sud e ovest, mentre a nord no. Il risultato risulta essere alquanto elevato ed ovviamente dipendente dall'orientamento. Due stanze anche se esposte a nord risultano comunque rispettare il criterio, poiché hanno un secondo affaccio su una diversa esposizione.

Il requisito del DGP è strettamente influenzato dalla presenza del sistema schermante. Con la tenda abbassata la percentuale di ambienti che hanno un rischio intollerabile di DGP scende dal 58% al 28%, valore ancora molto alto per essere considerato un buon risultato.



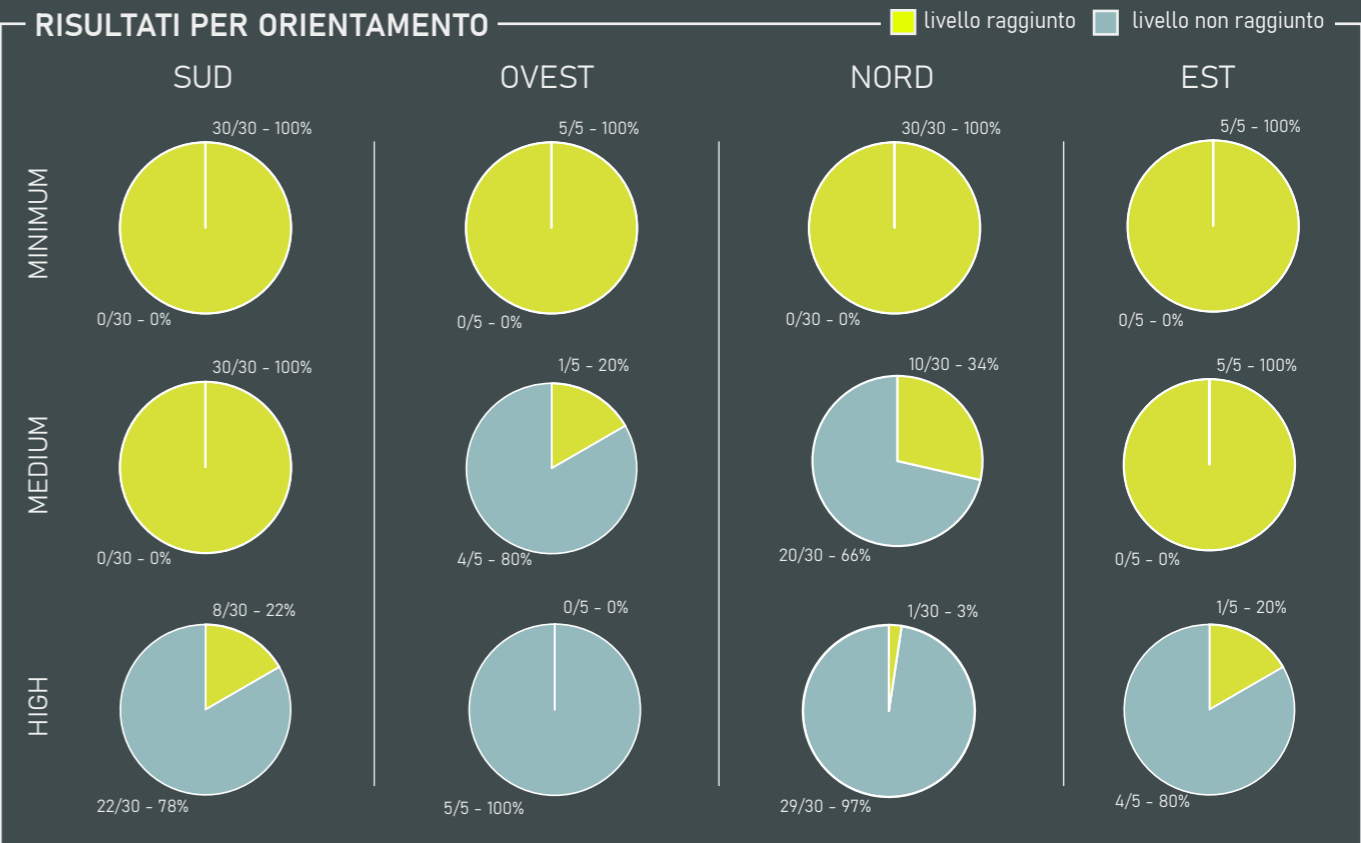
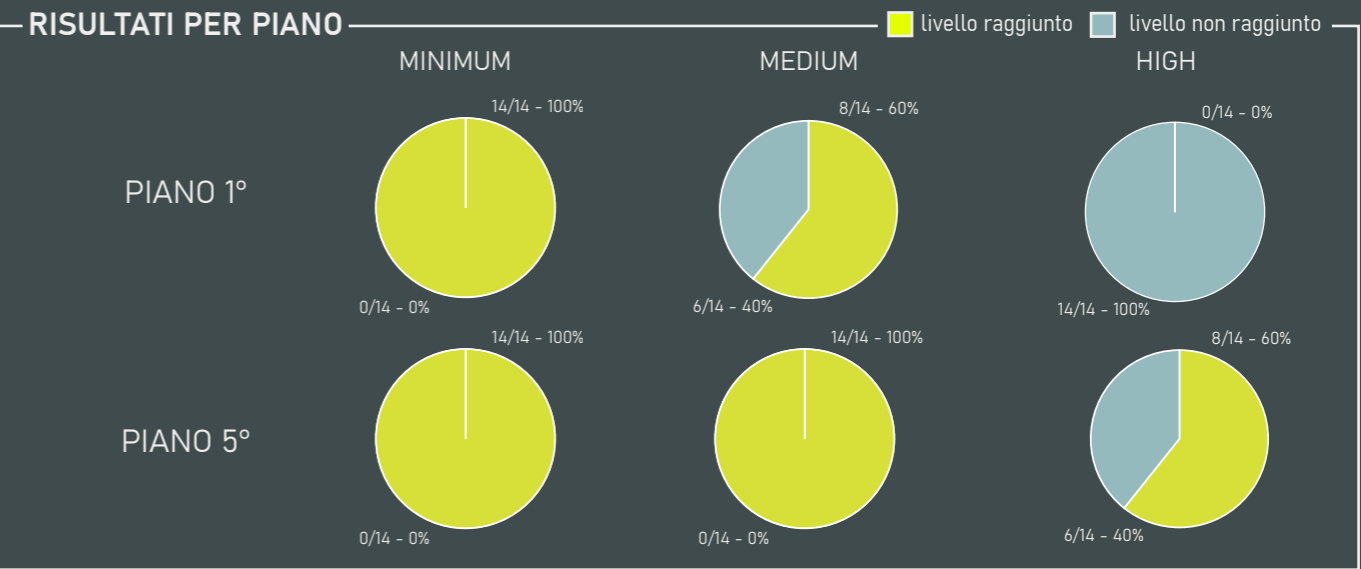
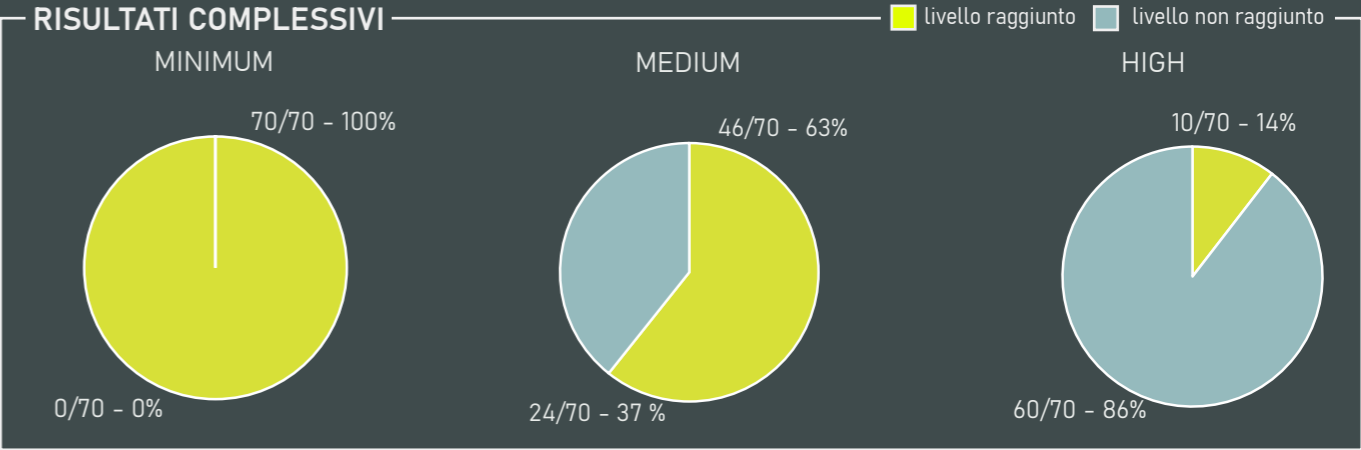
Daylight Provision NO BLINDS - IES LM83



P1

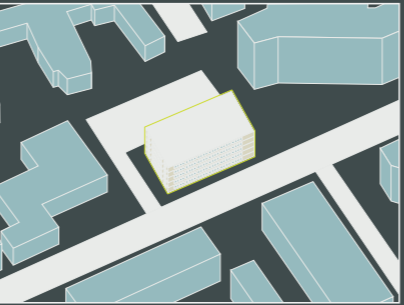
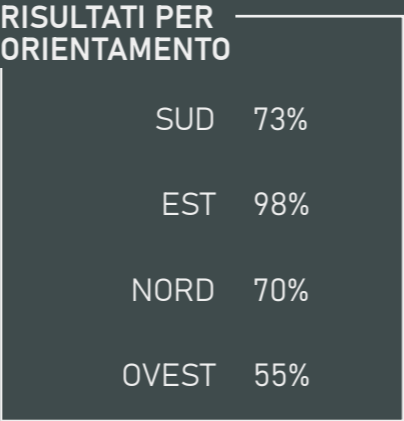
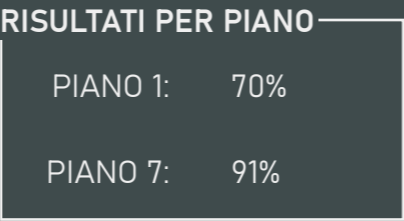
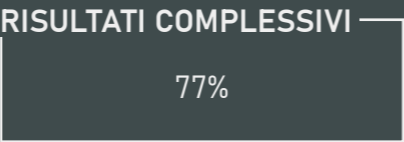
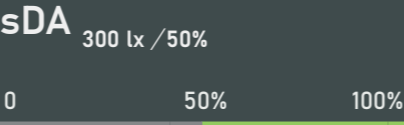
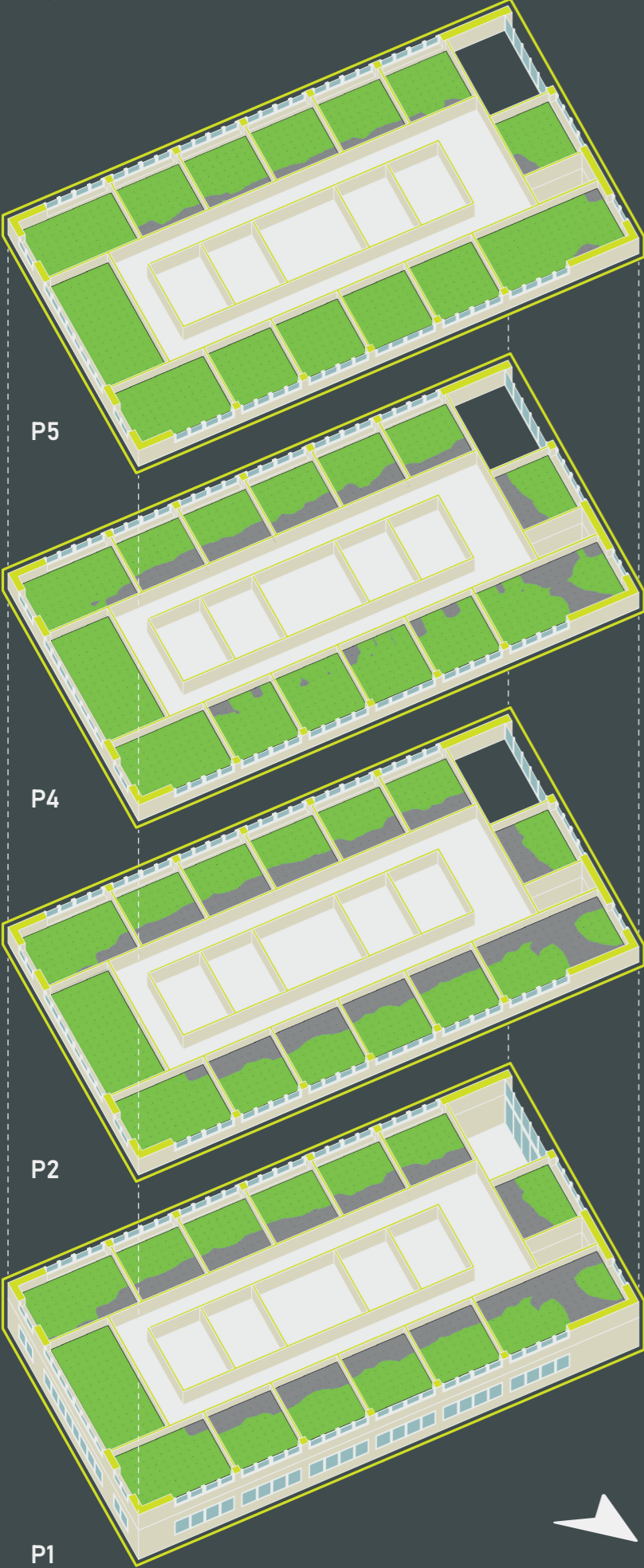
244

Daylight Provision NO BLINDS - UNI EN 17037

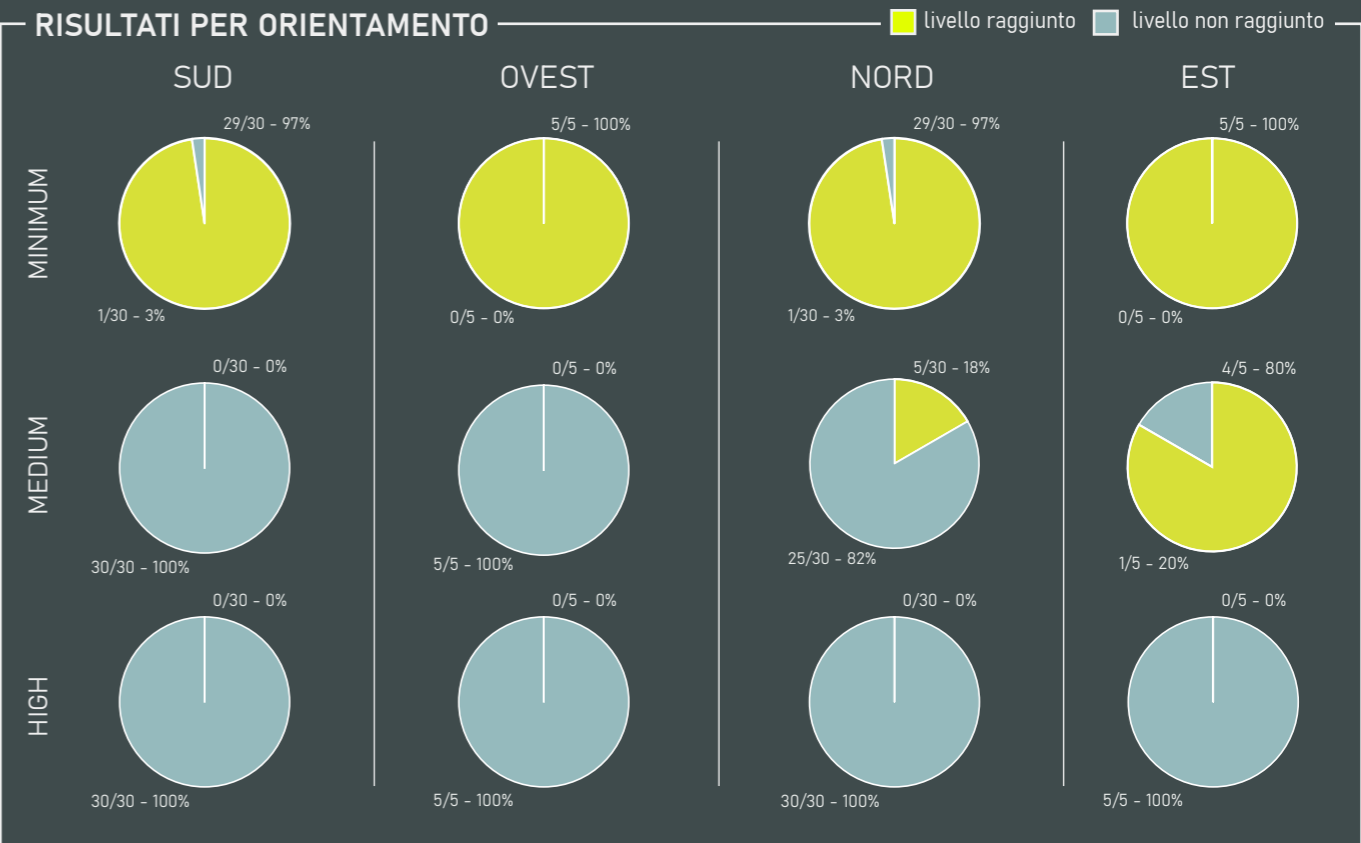
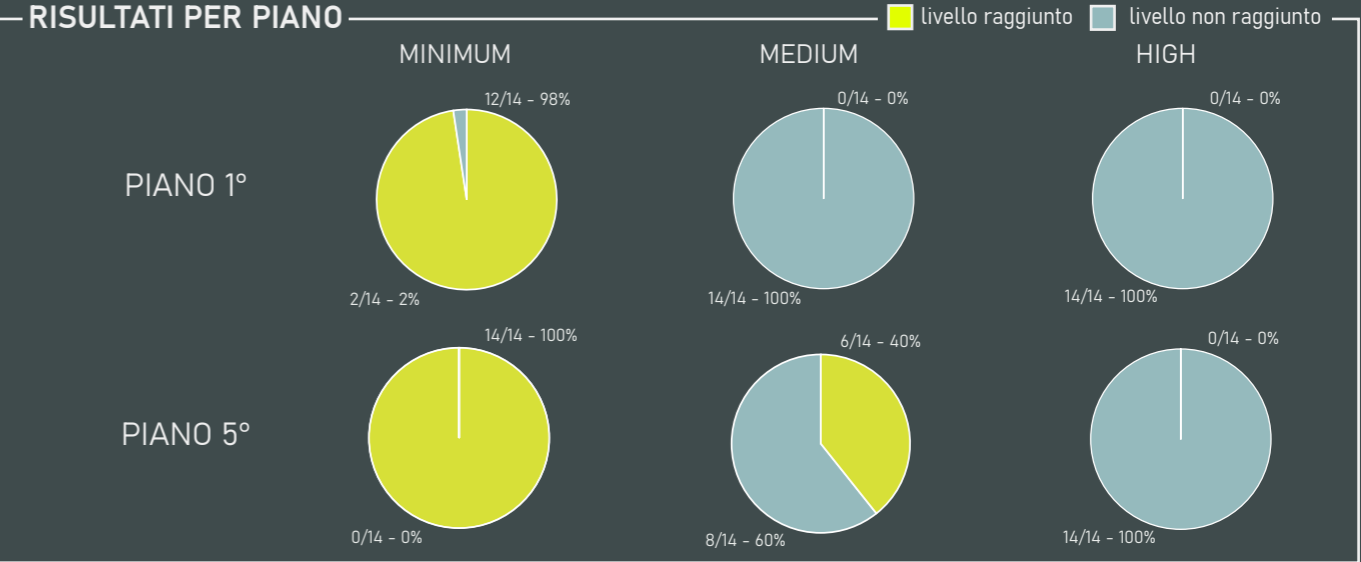
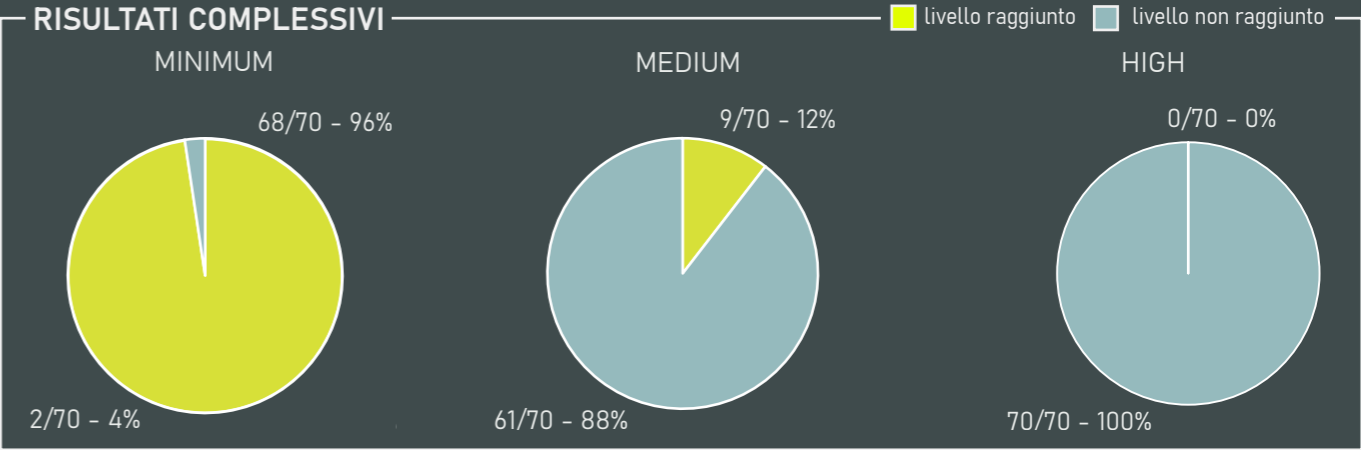


245

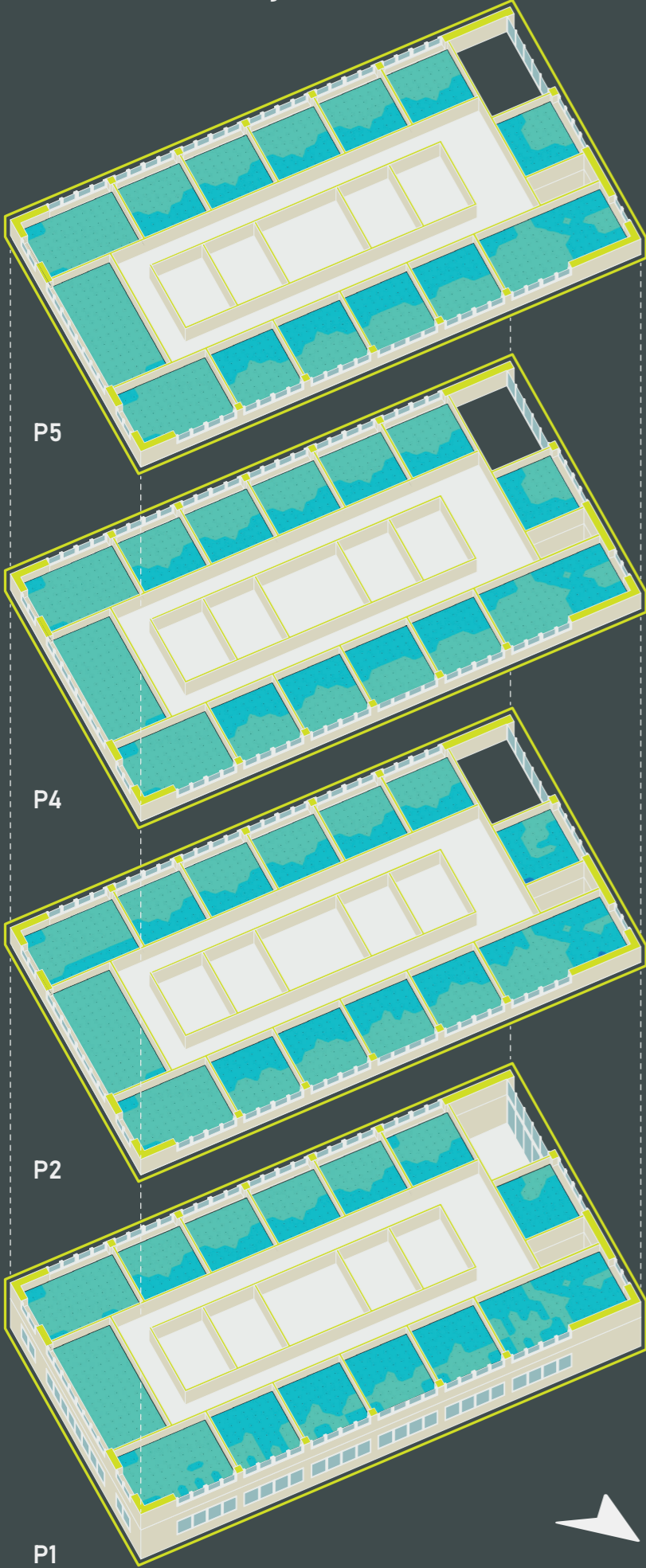
Daylight Provision BLINDS - IES LM83



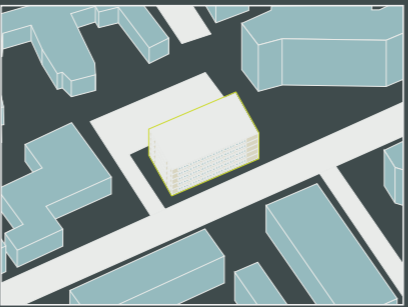
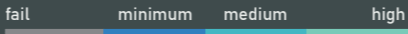
Daylight Provision BLINDS - UNI EN 17037



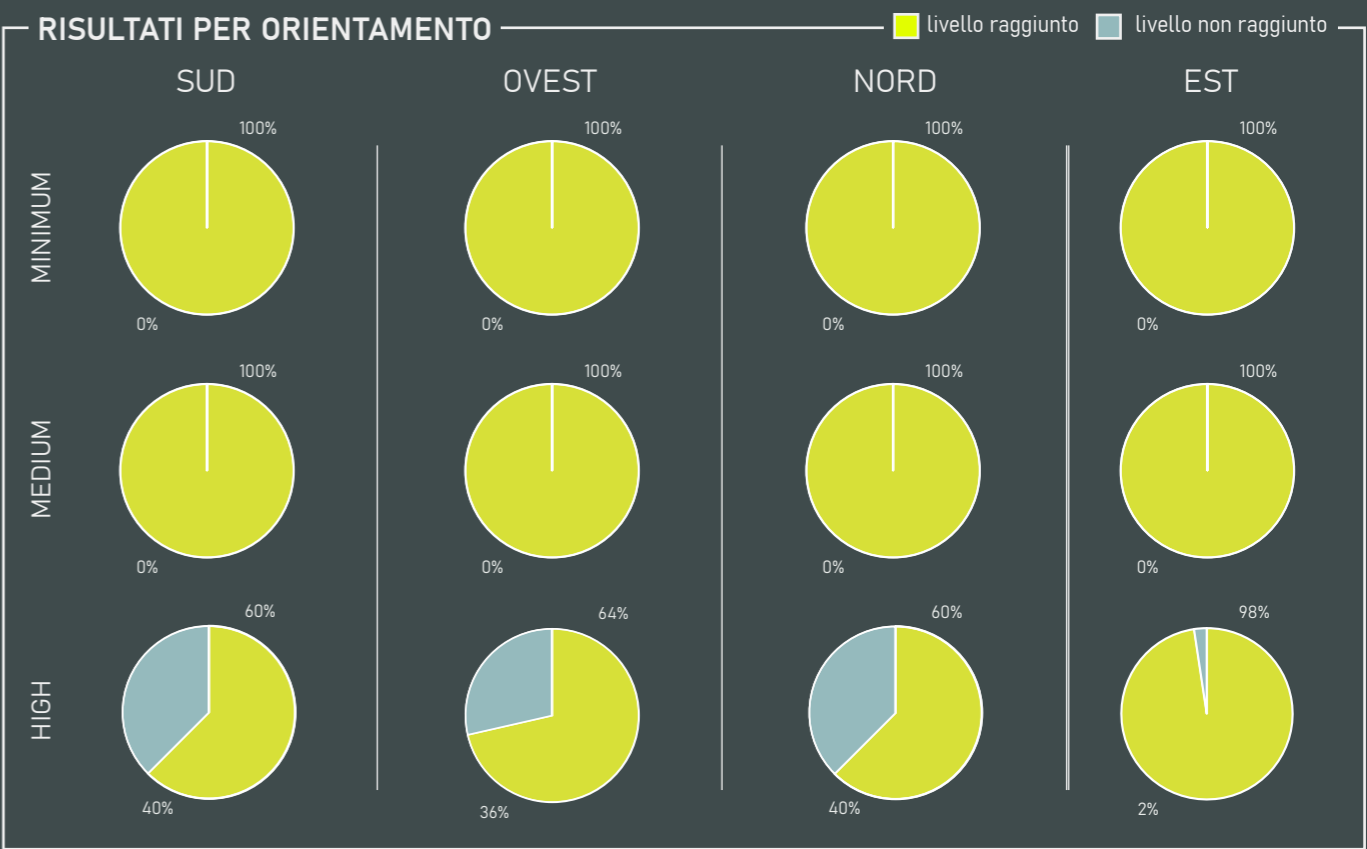
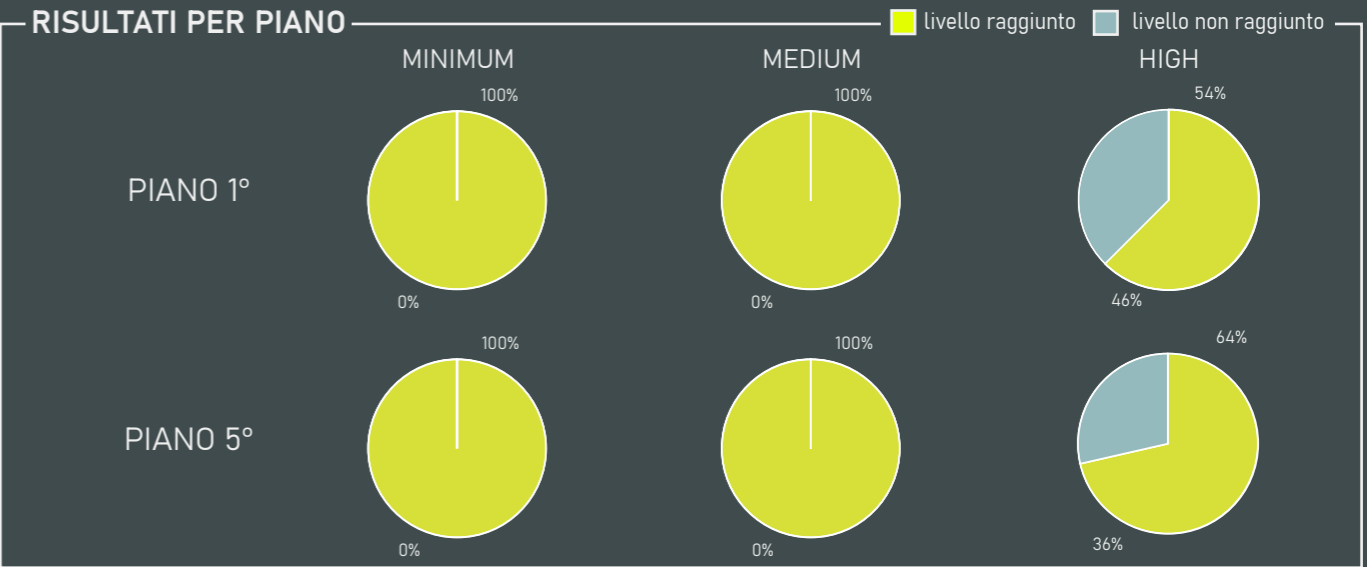
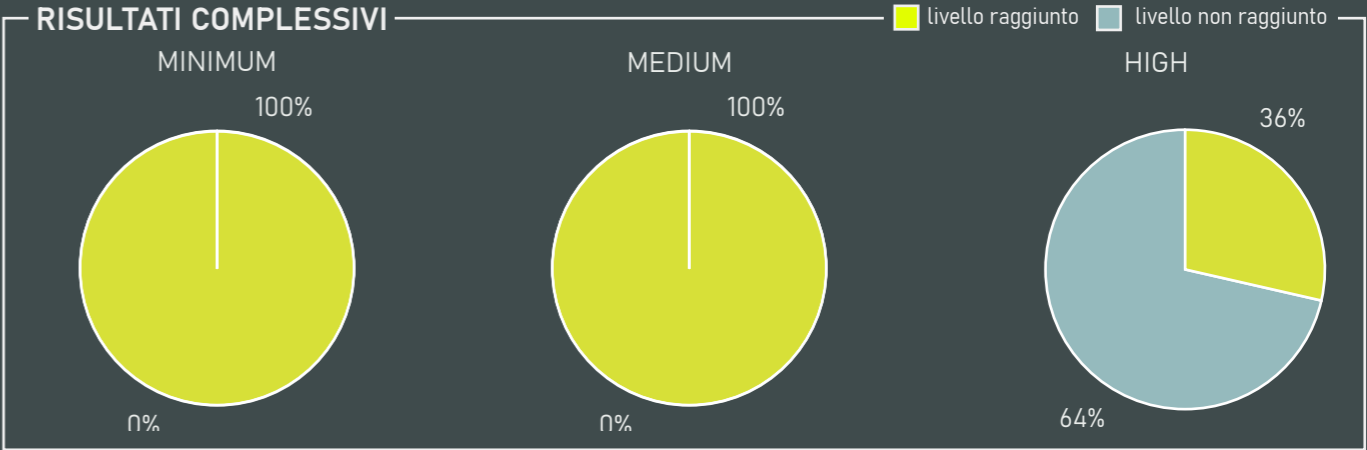
View Out Analysis - UNI EN 17037



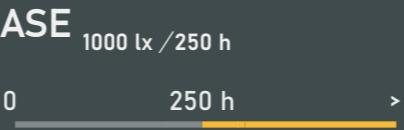
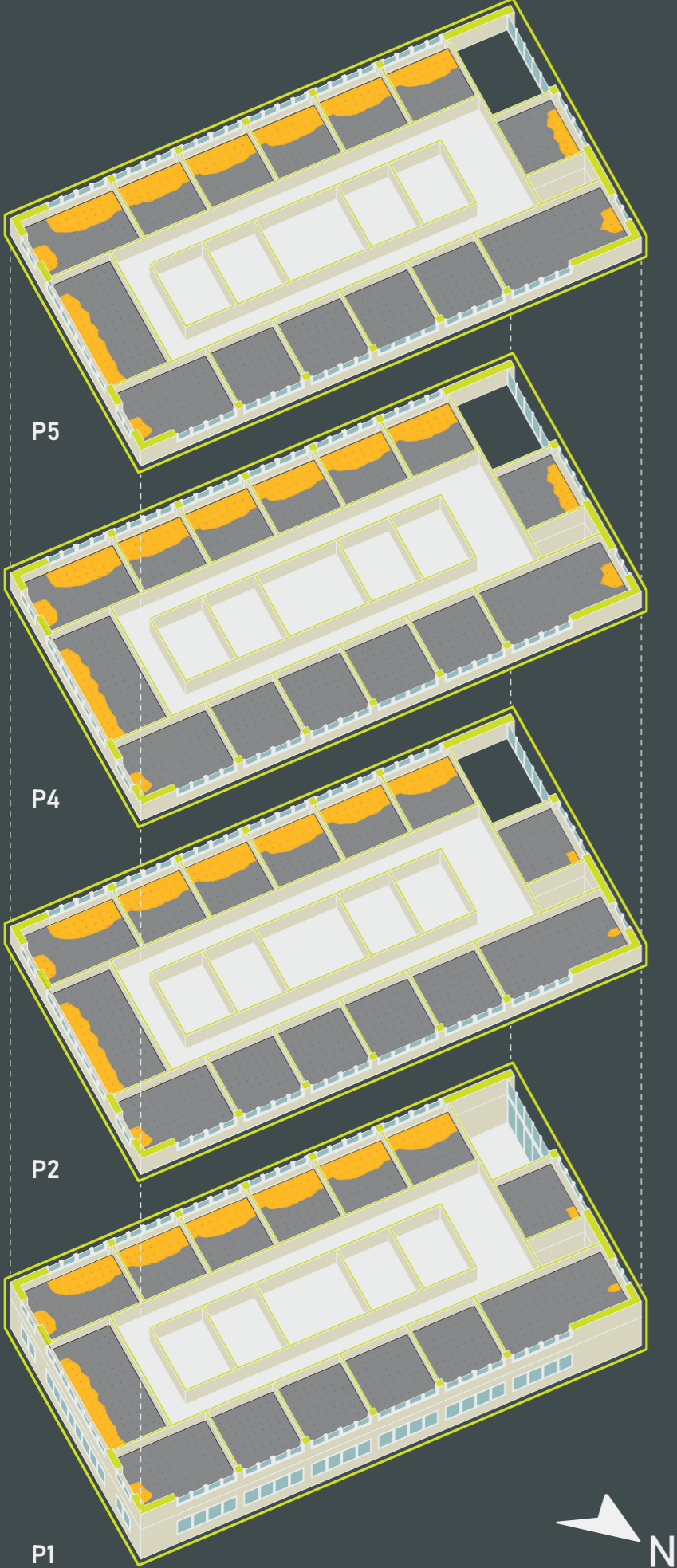
View Out Analysis



View Analysis - UNI EN 17037



Annual Sunlight Exposure - IES LM83



RISULTATI COMPLESSIVI

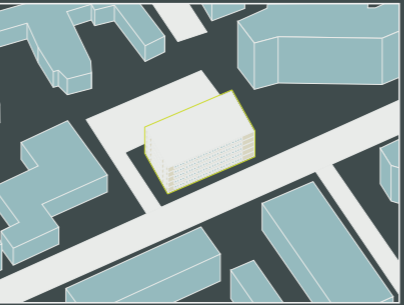
17%
-----

RISULTATI PER PIANO

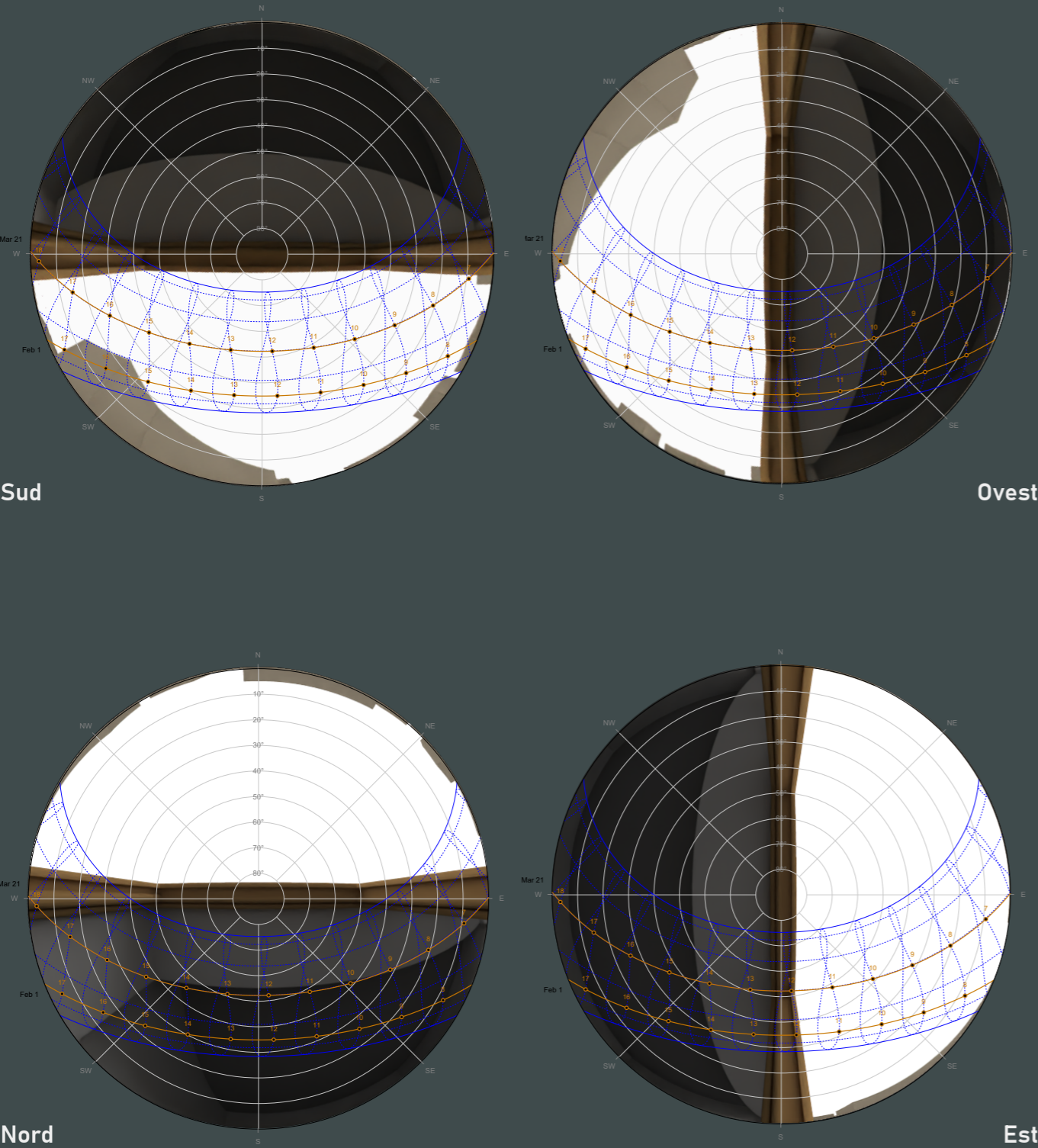
PIANO 1:	13%
PIANO 5:	27%

RISULTATI PER ORIENTAMENTO

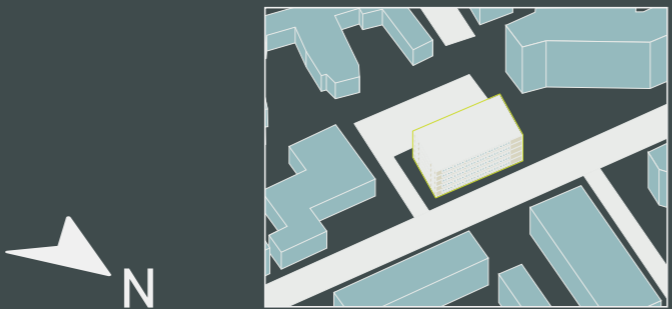
SUD	32%
EST	23%
NORD	2%
OVEST	11%



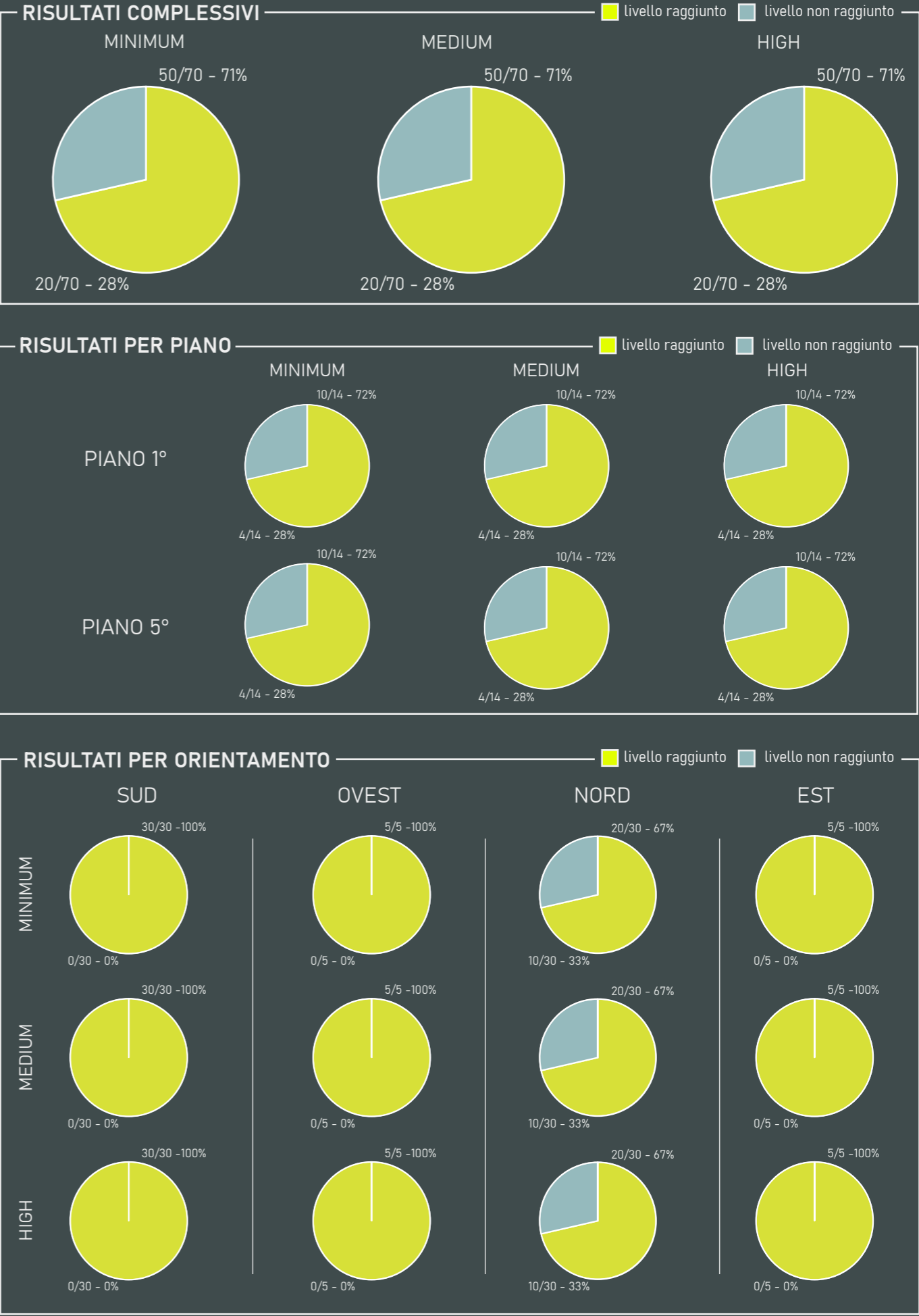
Sunlight Exposure - UNI EN 17037



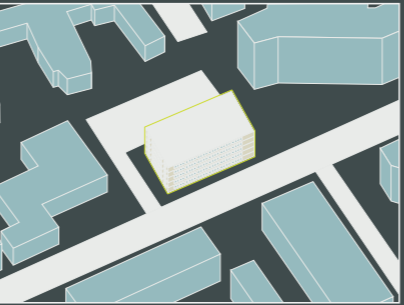
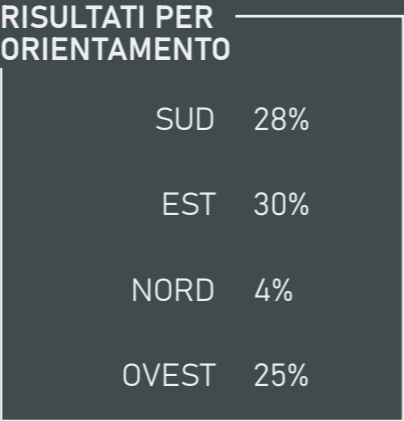
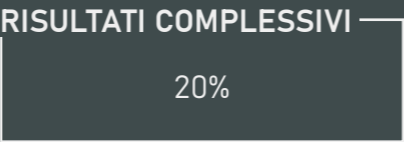
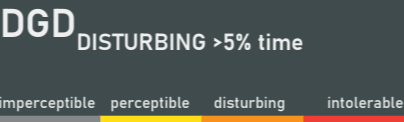
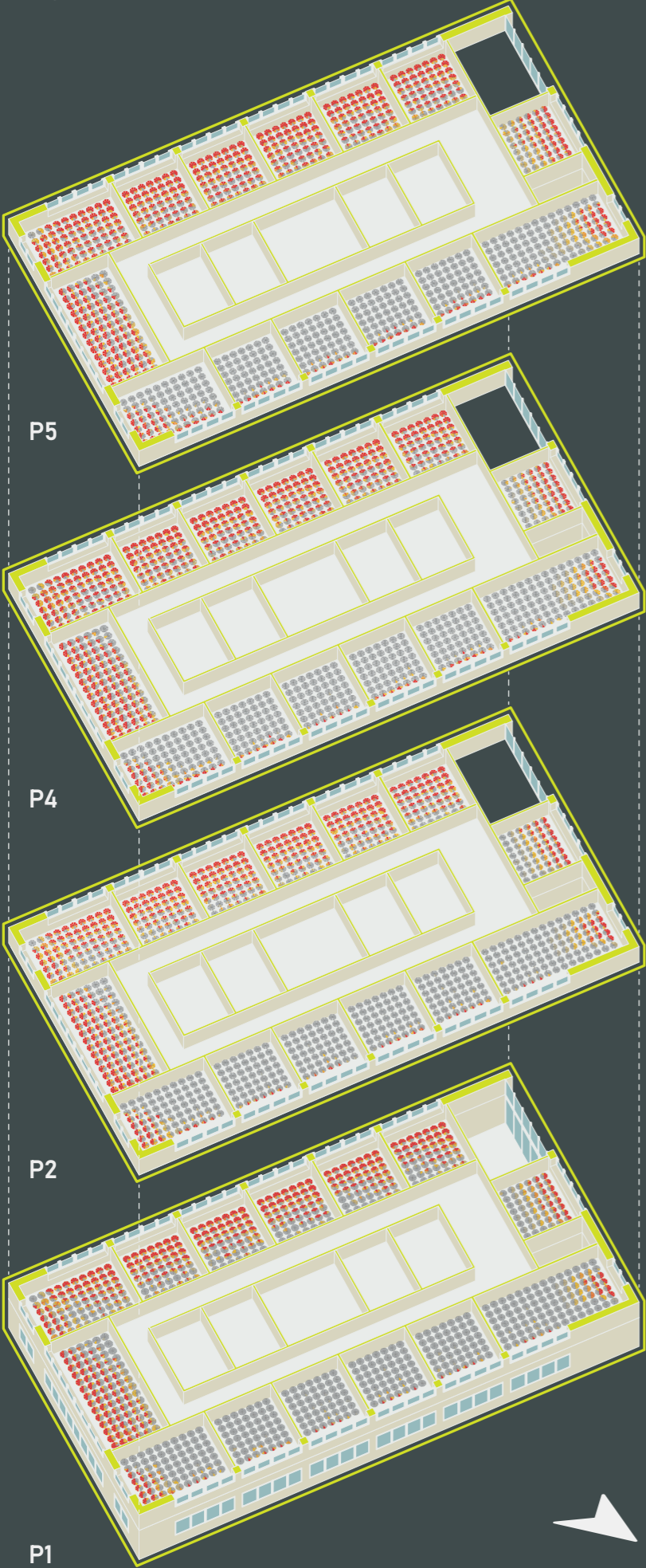
Immagini relative al primo piano



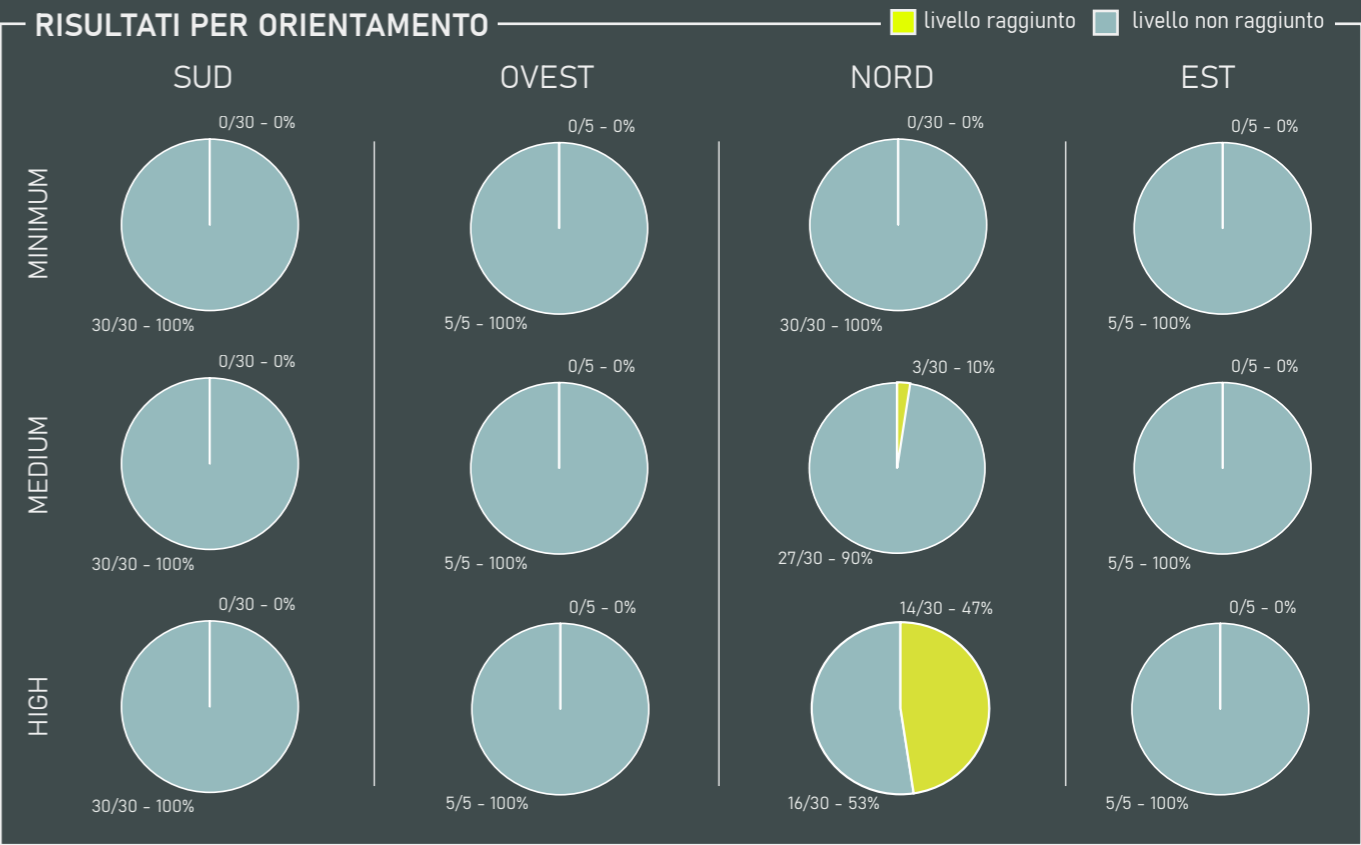
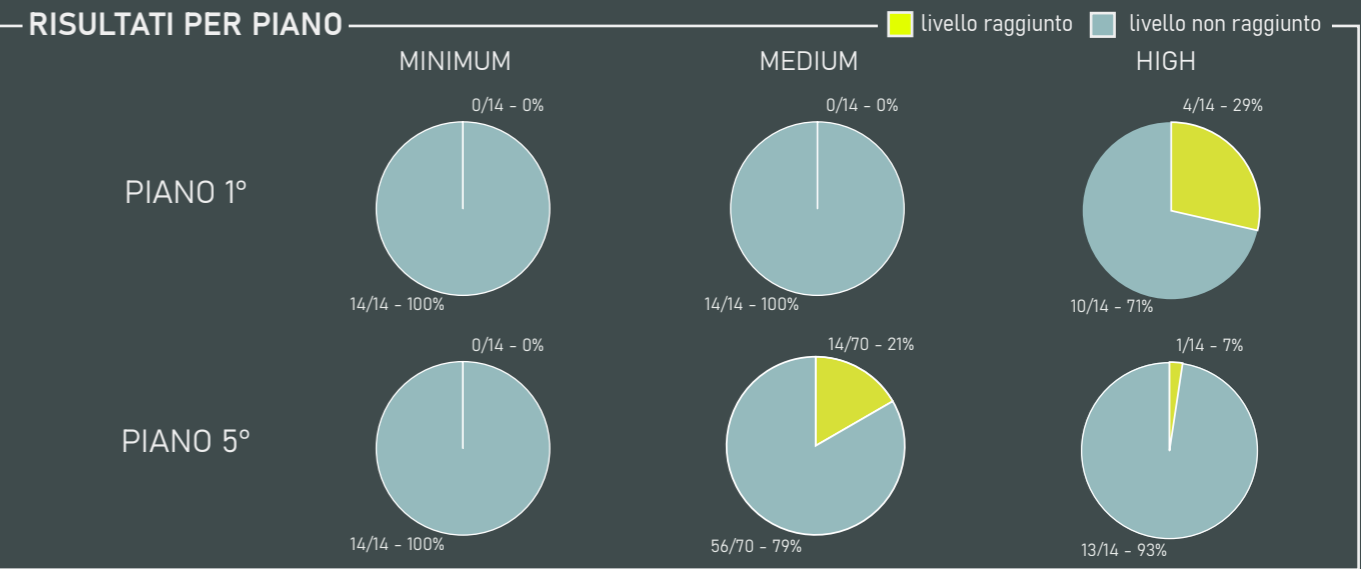
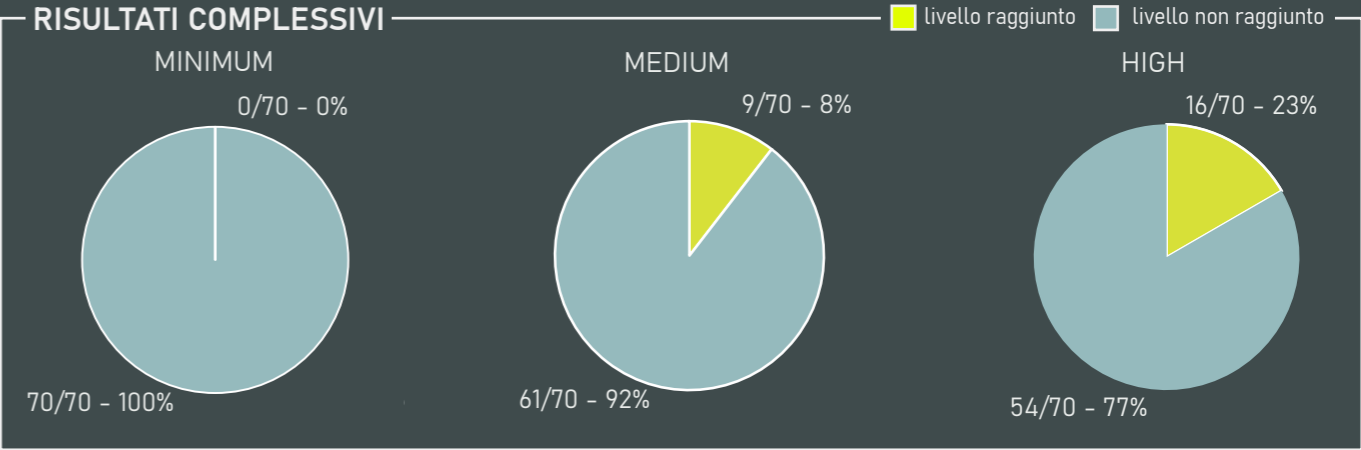
Sunlight Exposure - UNI EN 17037



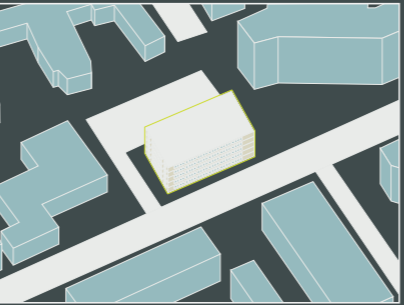
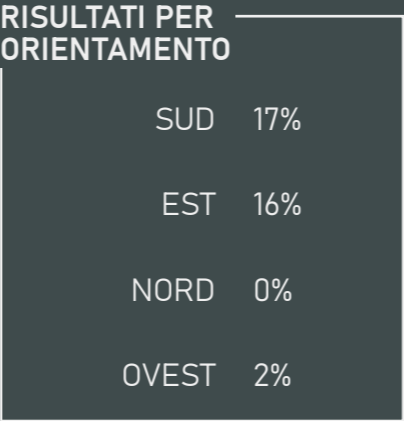
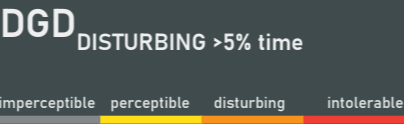
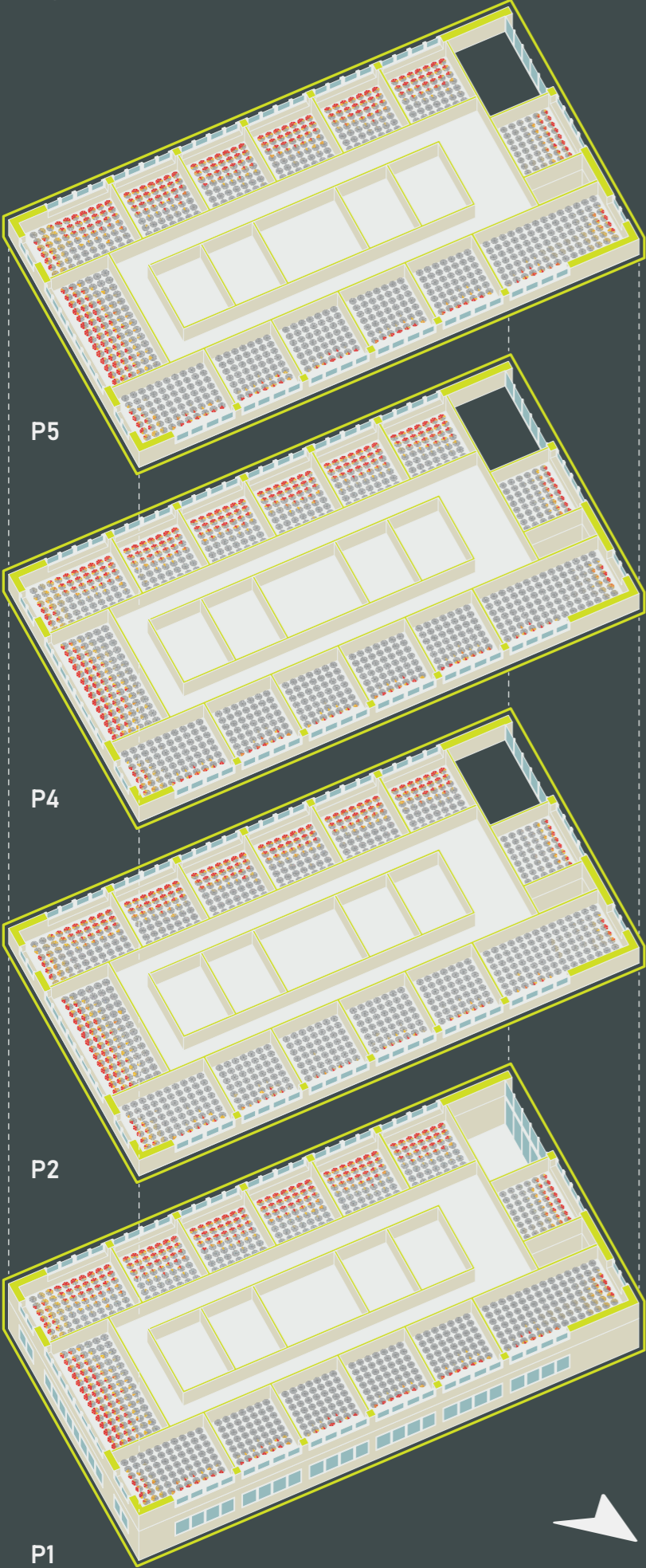
Daylight Glare NO BLINDS - IES LM83



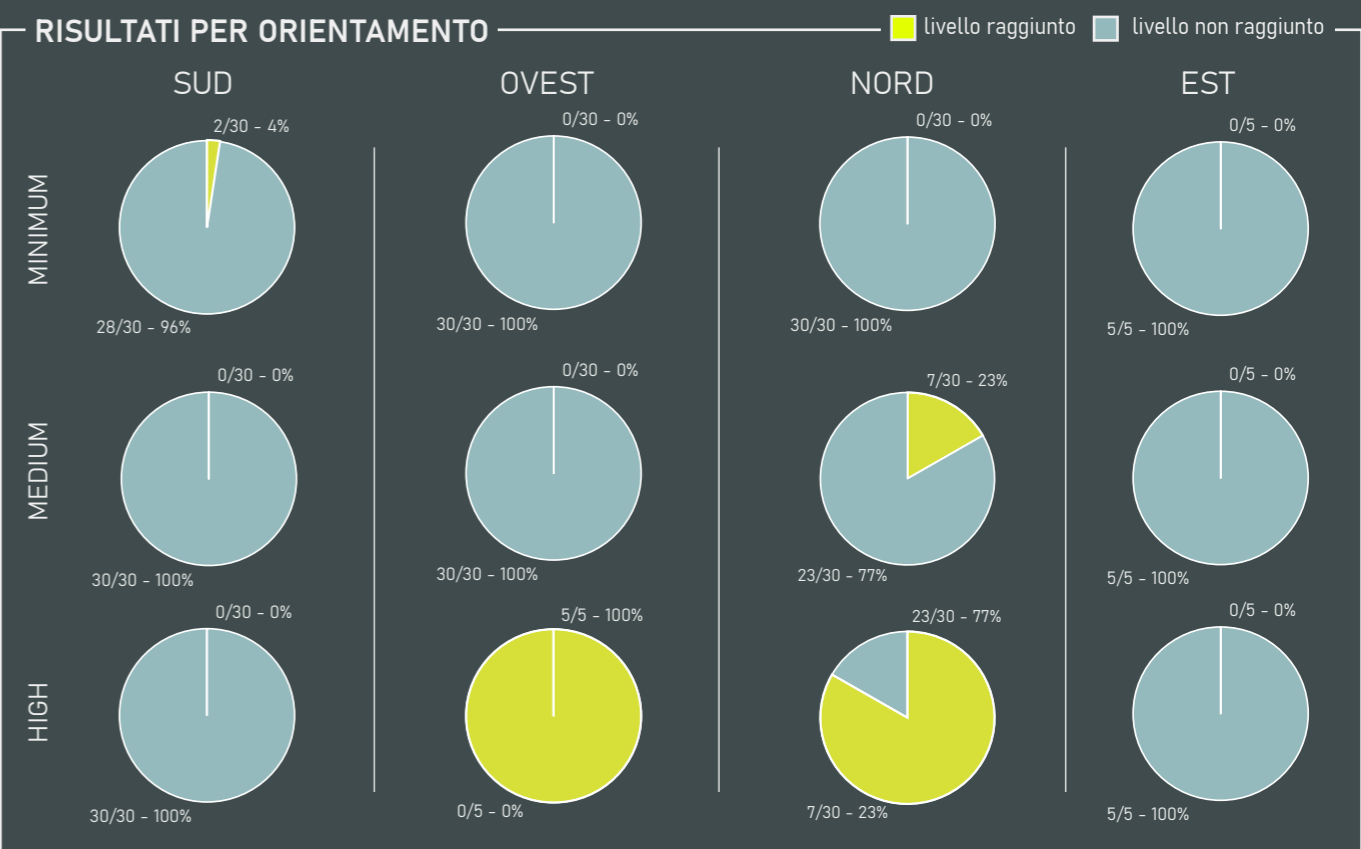
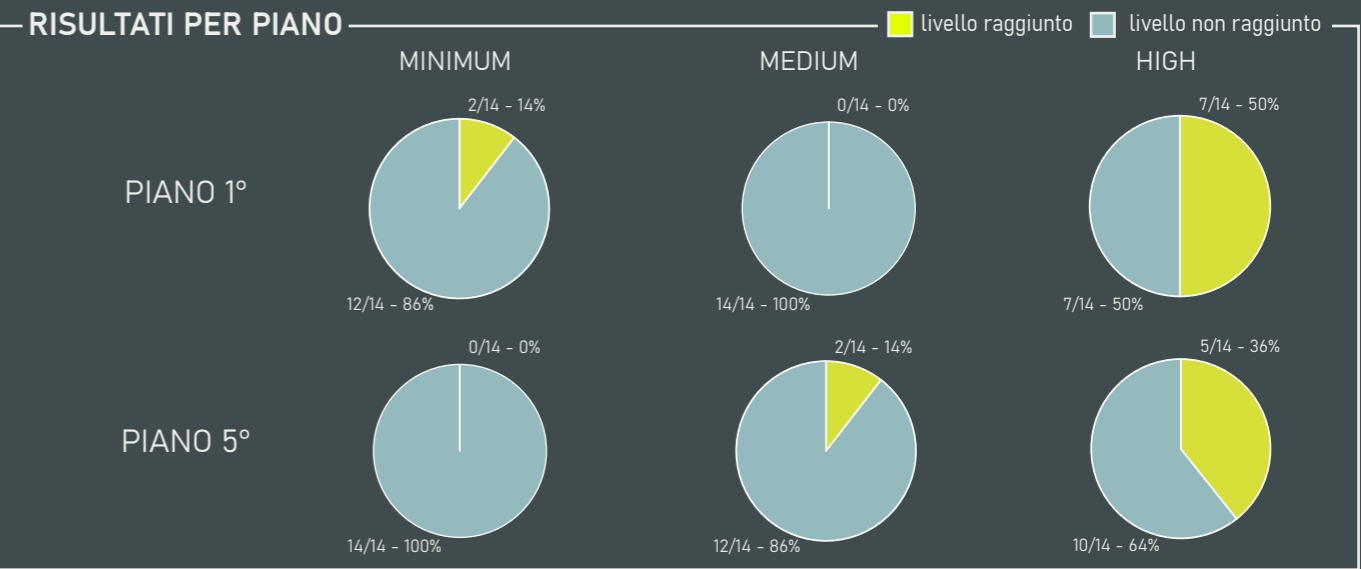
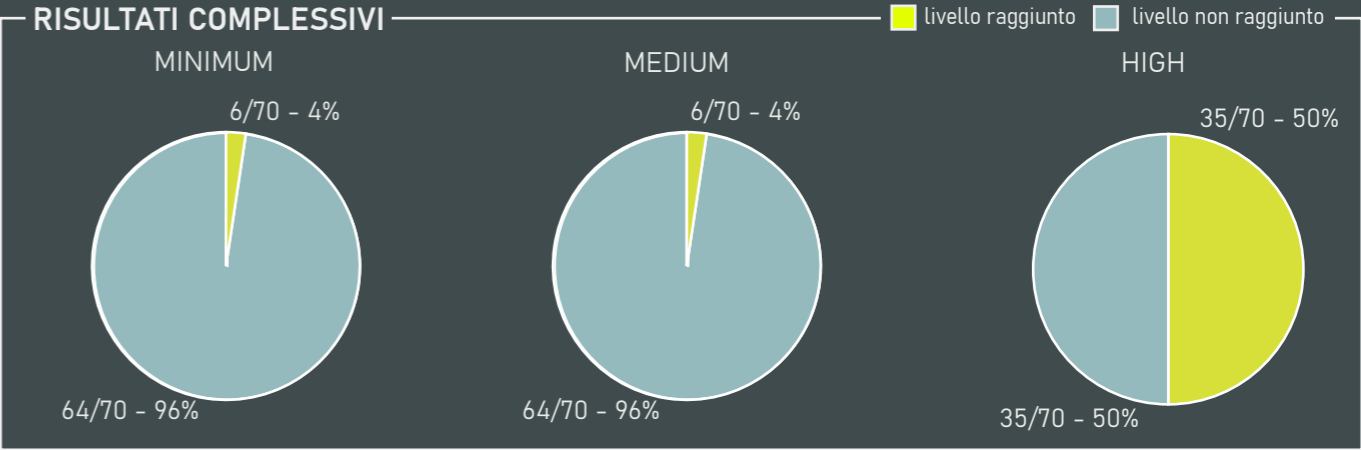
Glare Protection NO BLINDS - UNI EN 17037



Daylight Glare BLINDS - IES LM83



Glare Protection BLINDS - UNI EN 17037



INDUSTRIALE		MILANO	
		POINT	LINE
DAYLIGHT PROVISION	H = 6m	HIGH	MEDIUM
	H = 9m	MEDIUM	HIGH
VIEW OUT ANALYSIS	H = 6m		
	H = 9m		
SUNLIGHT EXPOSURE	H = 6m	FAIL	FAIL
	H = 9m	FAIL	FAIL
GLARE PROTECTION	H = 6m	IMPERCEPTIBLE	IMPERCEPTIBLE
	H = 9m	IMPERCEPTIBLE	IMPERCEPTIBLE

ROMA		PALERMO	
		POINT	LINE
		HIGH	HIGH
		HIGH	HIGH
		FAIL	FAIL
		FAIL	FAIL
		IMPERCEPTIBLE	IMPERCEPTIBLE
		IMPERCEPTIBLE	IMPERCEPTIBLE

RESIDENZA		MILANO					
		MINIMUM		MEDIUM		HIGH	
		NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND
DAYLIGHT PROVISION	TOTALE	25%	1%	2%	0%	0%	0%
	P. PRIMO	14%	0%	0%	0%	0%	0%
	P. ULTIMO	38%	5%	9%	0%	0%	0%
	SUD	50%	0%	5%	0%	0%	0%
	EST	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	NORD	3%	3%	0%	0%	0%	0%
	OVEST	0%	0%	0%	0%	0%	0%
VIEW OUT ANALYSIS	TOTALE	53%		19%		2%	
	P. PRIMO	53%		19%		2%	
	P. ULTIMO	53%		19%		2%	
	SUD	60%		23%		3%	
	EST	37%		11%		0%	
	NORD	48%		15%		1%	
	OVEST	34%		11%		0%	
SUNLIGHT EXPOSURE	TOTALE	48%		48%		48%	
	P. PRIMO	48%		48%		48%	
	P. ULTIMO	48%		48%		48%	
	SUD	100%		100%		100%	
	EST	0%		0%		0%	
	NORD	0%		0%		0%	
	OVEST	0%		0%		0%	
GLARE PROTECTION	TOTALE	0%	0%	4%	4%	49%	96%
	P. PRIMO	0%	0%	0%	0%	52%	100%
	P. ULTIMO	0%	0%	4%	7%	48%	93%
	SUD	0%	10%	0%	0%	0%	90%
	EST	0%	0%	0%	0%	100%	100%
	NORD	0%	0%	0%	0%	100%	100%
	OVEST	0%	0%	75%	0%	25%	100%

ROMA						PALERMO					
MINIMUM		MEDIUM		HIGH		MINIMUM		MEDIUM		HIGH	
NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND
62%	53%	21%	5%	2%	0%	28%	10%	1%	0%	0%	0%
36%	43%	7%	0%	0%	0%	1%	5%	7%	0%	0%	0%
100%	71%	50%	7%	7%	0%	60%	5%	1%	0%	0%	0%
63%	25%	25%	0%	12%	0%	45%	14%	2%	0%	0%	0%
37%	25%	12%	0%	0%	0%	21%	0%	0%	0%	0%	0%
63%	63%	50%	37%	0%	0%	8%	8%	0%	0%	0%	0%
75%	66%	17%	0%	0%	0%	—	—	—	—	—	—
49%		42%		8%		92%		46%		11%	
62%		33%		5%		85%		35%		4%	
48%		42%		10%		93%		58%		16%	
72%		25%		0%		90%		35%		6%	
100%		0%		0%		89%		73%		16%	
45%		42%		11%		95%		65%		14%	
52%		36%		12%		—		—		—	
79%		79%		59%		60%		60%		60%	
80%		80%		50%		40%		40%		40%	
80%		80%		80%		40%		40%		40%	
100%		100%		100%		100%		100%		100%	
75%		75%		25%		100%		100%		100%	
0%		0%		0%		0%		0%		0%	
100%		100%		100%		—		—		—	
0%	8%	8%	39%	37%	40%	6%	29%	3%	16%	30%	52%
0%	0%	0%	10%	43%	87%	0%	33%	6%	20%	33%	45%
1%	16%	1%	7%	0%	57%	0%	40%	9%	20%	39%	40%
0%	0%	0%	13%	0%	75%	0%	2%	0%	69%	2%	14%
5%	0%	0%	7%	58%	93%	0%	37%	0%	21%	14%	29%
0%	13%	25%	0%	75%	87%	0%	14%	0%	29%	84%	84%
0%	3%	0%	0%	0%	66%	—	—	—	—	—	—

UFFICI		MILANO					
		MINIMUM		MEDIUM		HIGH	
		NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND
DAYLIGHT PROVISION	TOTALE	100%	66%	50%	8%	2%	0%
	P. PRIMO	100%	40%	14%	0%	0%	0%
	P. ULTIMO	100%	100%	100%	40%	22%	0%
	SUD	100%	30%	52%	0%	3%	0%
	EST	100%	100%	100%	60%	20%	0%
	NORD	100%	95%	28%	20%	0%	0%
	OVEST	100%	50%	60%	0%	0%	10%
VIEW OUT ANALYSIS	TOTALE	100%		99%		52%	
	P. PRIMO	100%		98%		39%	
	P. ULTIMO	100%		100%		61%	
	SUD	100%		100%		55%	
	EST	100%		100%		100%	
	NORD	100%		98%		40%	
	OVEST	100%		99%		40%	
SUNLIGHT EXPOSURE	TOTALE	68%		68%		68%	
	P. PRIMO	40%		40%		40%	
	P. ULTIMO	40%		40%		40%	
	SUD	100%		100%		100%	
	EST	0%		0%		0%	
	NORD	0%		0%		0%	
	OVEST	100%		100%		100%	
GLARE PROTECTION	TOTALE	7%	24%	16%	21%	5%	7%
	P. PRIMO	1%	21%	0%	0%	24%	26%
	P. ULTIMO	32%	0%	0%	0%	0%	0%
	SUD	0%	0%	0%	0%	0%	20%
	EST	0%	0%	0%	0%	0%	40%
	NORD	85%	28%	44%	54%	28%	12%
	OVEST	0%	0%	0%	0%	0%	30%

ROMA						PALERMO					
MINIMUM		MEDIUM		HIGH		MINIMUM		MEDIUM		HIGH	
NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND	NO B.	BLIND
69%	55%	28%	8%	1%	0%	100%	96%	63%	12%	14%	0%
50%	40%	3%	0%	0%	0%	100%	98%	60%	0%	0%	0%
100%	93%	64%	14%	3%	0%	100%	100%	100%	40%	60%	0%
100%	0%	20%	0%	0%	0%	100%	97%	100%	0%	22%	0%
34%	16%	4%	5%	0%	0%	100%	100%	100%	80%	20%	0%
100%	100%	80%	100%	0%	0%	100%	97%	34%	18%	3%	0%
97%	32%	43%	5%	3%	0%	100%	100%	20%	0%	0%	0%
100%		58%		36%		100%		100%		36%	
100%		54%		30%		100%		100%		54%	
100%		64%		42%		100%		100%		64%	
100%		58%		7%		100%		100%		60%	
100%		95%		2%		100%		100%		98%	
100%		98%		80%		100%		100%		60%	
100%		95%		60%		100%		100%		64%	
92%		92%		63%		71%		71%		71%	
97%		97%		40%		72%		72%		72%	
97%		97%		97%		72%		72%		72%	
100%		100%		100%		100%		100%		100%	
100%		100%		100%		100%		100%		100%	
0%		0%		0%		67%		67%		67%	
100%		100%		24%		100%		100%		100%	
12%	12%	0%	21%	30%	39%	0%	4%	8%	4%	23%	50%
0%	7%	7%	29%	43%	57%	0%	14%	0%	0%	29%	50%
7%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	0%	21%	14%	7%	36%
0%	20%	0%	20%	0%	40%	0%	4%	0%	0%	0%	0%
9%	0%	0%	20%	71%	80%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
0%	0%	100%	80%	0%	20%	0%	0%	0%	23%	47%	77%
0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

## CAPITOLO

# 7

### ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa tesi è stato valutare in che misura il patrimonio edilizio italiano risulti conforme ai requisiti di illuminazione naturale definiti dalla normativa europea UNI EN 17037:2021. A tal fine, è stata condotta un'analisi simulativa volta a caratterizzare le prestazioni di tre tipologie edilizie rappresentative del contesto nazionale (industriale, residenziale e uffici) attraverso specifici casi studio localizzati a Milano, Roma e Palermo.

La valutazione si è concentrata sui quattro criteri previsti dalla norma, analizzati tramite il software ClimateStudio: *Daylight Provision*, *View Out Analysis*, *Sunlight Exposure* e *Glare Protection*. L'impiego di modelli simulativi ha consentito non solo di verificare il livello di conformità, ma anche di comprendere il comportamento dell'illuminazione naturale in relazione alle diverse configurazioni tipologiche, morfologiche e climatiche.

Sulla base dei risultati ottenuti, è possibile delineare alcune considerazioni conclusive. Le

tre tipologie edilizie manifestano condizioni e criticità tra loro differenti, motivo per cui l'analisi è stata condotta e discussa singolarmente, così da restituire un quadro comparativo chiaro e aderente alla loro specificità.

### **La tipologia edilizia industriale**

Gli archetipi identificati per rappresentare la tipologia edilizia industriale mostrano un'elevata aderenza ai criteri di *Daylight Provision* e *Glare Protection*: nel primo caso raggiunge il livello massimo in 10 scenari su 12, mentre nel secondo risulta conforme in tutti i casi. Questo indica che la normativa, per quanto riguarda la valutazione della disponibilità di luce naturale, risulta pienamente applicabile a questa tipologia edilizia. L'adozione di aperture zenitali, anche nel contesto italiano, si conferma una soluzione capace di garantire un'illuminazione omogenea e adeguata degli ambienti, contribuendo al raggiungimento dei livelli più elevati del requisito di *DP*. Tuttavia, le limitazioni delle impostazioni assunte nella simulazione possono influire positivamente sul risultato finale. Un esempio è la mancanza di arredi o partizioni interne negli ambienti, condizione che difficilmente corrisponde alla realtà. Di fatto, una simulazione più aderente alle tipiche condizioni di allestimento interno degli spazi del capannone potrebbe restituire risultati più vicini a una situazione reale.

I risultati positivi relativi alla *Glare Protection* sono influenzati in modo significativo dalla caratteristica diffondente scelta del componente trasparente. Tuttavia, trattandosi di una soluzione ampiamente diffusa negli edifici industriali, anche questo requisito può essere considerato soddisfatto in modo convincente.

Il confronto tra i risultati di questa tipologia edilizia ottenuti tramite la metodologia della UNI EN 17037 e quelli derivanti dallo standard *IES LM-83* mette inoltre in luce una buona coerenza tra i due approcci. Tale fatto avvalora ulteriormente i risultati ottenuti e sottolinea un'elevata conformità ai requisiti della normativa europea.

Un discorso diverso riguarda invece i requisiti di *Sunlight Exposure* e *View Out*. Il primo risulta fortemente dipendente dalle caratteristiche del vetro utilizzato e mostra, nei casi analizzati,

una mancanza di esposizione alla luce solare diretta, tale da determinare la totale mancata conformità al requisito della norma. Il requisito di *View Out*, invece, non viene considerato rilevante per questa tipologia edilizia: le funzioni d'uso degli ambienti industriali non richiedono necessariamente una relazione visiva con l'esterno e, una volta adottata una soluzione di illuminazione zenitale, tale possibilità risulta di fatto esclusa.

Gli archetipi identificati per rappresentare la tipologia industriale risultano dunque conformi alla normativa europea in due dei tre requisiti analizzati. Questo esito può essere considerato complessivamente soddisfacente, soprattutto se si tiene conto che, in ambienti produttivi illuminati prevalentemente tramite aperture zenitali, l'ingresso di luce diretta potrebbe rappresentare un elemento di disturbo per gli occupanti. In questo senso, la mancata conformità al requisito di *Sunlight Exposure* va interpretata anche alla luce delle esigenze specifiche di questa tipologia edilizia, dove il controllo dell'abbagliamento e la stabilità delle condizioni luminose hanno un ruolo prioritario rispetto alla presenza di luce solare diretta.

### **La tipologia edilizia residenziale**

In generale, considerando l'obiettivo della tesi, i requisiti della norma risultano molto stringenti rispetto alle condizioni di illuminazione che si hanno negli ambienti degli archetipi residenziali analizzati. In particolare i requisiti di *Daylight Provision* risultano raramente soddisfatti, mentre si rilevano prestazioni mediamente soddisfacenti negli altri criteri analizzati. È importante considerare che, negli edifici residenziali, la *DP* non ricopre lo stesso ruolo centrale che riveste in altre tipologie edilizie: le attività svolte all'interno non richiedono di norma livelli elevati di illuminamento sul piano di lavoro. Inoltre, l'utente dispone della possibilità di spostarsi all'interno dell'abitazione in caso di condizioni luminose sfavorevoli, riducendo la necessità di raggiungere livelli "high" del requisito.

Non è quindi indispensabile ottenere il livello *high* di *DP*; è però essenziale garantire almeno il livello minimo. Dai risultati emerge che questo livello viene raggiunto solo ai piani più alti

o in ambienti di dimensioni ridotte, come nel caso dell'edificio di Roma. Al contrario, negli edifici di Milano e Palermo oltre il 70% degli ambienti non raggiunge nemmeno la soglia minima raccomandata e i piani bassi non raggiungono mai il livello minimo.

Questa condizione si verifica già in assenza di tende, uno scenario volutamente sfavorevole ma realistico: con l'aggiunta dei sistemi di schermatura i valori si riducono drasticamente, fino a percentuali prossime allo zero.

Le motivazioni sono da ricondurre alla morfologia degli ambienti analizzati, alla densità del contesto urbano che non permettono alla luce di entrare in quantità soddisfacenti ed a distribuirsi efficientemente.

La *View Out Analysis* mostra un superamento discreto del requisito, con risultati particolarmente positivi nel caso siciliano, che presenta un contesto meno denso delle altre città e quindi favorisce il raggiungimento di questo criterio. Generalmente però, i livelli massimi non vengono molto raggiunti: la configurazione non regolare degli ambienti e la presenza di aggetti come i balconi, tipici del residenziale, limitano spesso la qualità della vista verso l'esterno.

Il requisito di *Sunlight Exposure* risulta soddisfatto in tutte le città analizzate: per questa tipologia edilizia è sufficiente che almeno un ambiente per appartamento raggiunga uno dei tre livelli previsti. Va comunque sottolineato che il risultato è fortemente influenzato dall'orientamento delle aperture, come evidenziato dalle percentuali sempre nulle nel caso dell'orientamento nord.

Infine, anche il criterio di *Glare Protection* viene superato in modo generalmente positivo, soprattutto con l'impiego delle tende. Infatti, l'attivazione del sistema schermante comporta un calo significativo dei livelli raggiunti, che nel caso di Milano si riduce di quasi il 50%.

La tipologia edilizia residenziale risulta essere mediamente conforme a 3 requisiti su 4, ma la non conformità al requisito di *Daylight Provision* fa emergere dei problemi importanti sulla compatibilità del sistema di valutazione della normativa ed il patrimonio edilizio residenziale italiano. I limiti risultano essere

legati alla variabilità generalmente della morfologia degli ambienti ed alla densità del contesto urbano, che influiscono negativamente sulla quantità di luce entrante in ambiente.

### **La tipologia edilizia ufficio**

La modalità di fruizione degli edifici per uffici si discosta nettamente da quella residenziale: cambiano le esigenze dell'utente, la continuità della permanenza negli ambienti e, di conseguenza, la rilevanza dei requisiti e i livelli a cui puntare. Anche il ricorso ai sistemi schermanti assume un ruolo diverso: in un ufficio, dove l'occupante trascorre lunghi periodi nella stessa postazione, diventa fondamentale evitare condizioni di discomfort visivo; è quindi probabile che la schermatura venga utilizzata con maggiore frequenza.

Nel complesso, l'archetipo degli uffici risulta mediamente non conforme al requisito di *Glare Protection* e mostra prestazioni non pienamente soddisfacenti nella *Daylight Provision*.

In questo caso gli ambienti analizzati di questa tipologia edilizia risultano avere delle dimensioni favorevoli al raggiungimento dei requisiti: la grandezza contenuta e l'ampiezza delle vetrate provocano sì un aumento della luce entrante, ma anche un maggiore rischio di abbagliamento.

La *GP* non viene rispettata nella maggior parte dei casi, con risultati sfavorevoli in tutte le città analizzate. Questo suggerisce che il sistema schermante dovrebbe rappresentare un elemento cruciale nell'interpretazione dei dati; tuttavia, i risultati evidenziano come la sua attivazione non sia realmente efficace nel ridurre in modo significativo la percentuale di ambienti soggetti a fenomeni di abbagliamento.

Il requisito di *Daylight Provision* risulta conforme principalmente al livello minimo e solo in assenza di tende. Quando il sistema schermante viene dispiegato (scenario decisamente più realistico per un ambiente lavorativo) i livelli si riducono ulteriormente, mantenendosi sul minimo e risultando quindi non adeguati alle esigenze di un ambiente di lavoro. Questo risultato è dovuto sia ad una presenza importante del contesto, sia alle caratteristiche climatiche da attribuire al territorio italiano. L'angolo solare a

queste latitudini non risulta essere particolarmente basso e questo non favorisce una buona distribuzione spaziale della luce, che si concentra in prossimità delle aperture.

I criteri di *Sunlight Exposure* e *View Out*, al contrario, vengono ampiamente soddisfatti, nonostante la densità del contesto urbano influenzi sensibilmente queste metriche. A favore di tali risultati contribuiscono sia le dimensioni contenute degli ambienti, sia la presenza di finestre a nastro che occupano una porzione consistente delle pareti esterne.

La tipologia edilizia dell'ufficio risulta non essere conforme ai livelli dei requisiti della normativa europea di DP e GP, evidenziando una insufficiente gestione della luce naturale, caratterizzata da importanti fenomeni di discomfort e da livelli di illuminamento non adeguati alla destinazione d'uso. Inoltre, dalle simulazioni effettuate i requisiti appaiono molto stringenti rispetto alle condizioni di illuminazione che si hanno negli edifici analizzati.

Nel complesso, l'analisi condotta evidenzia come la distanza tra il quadro normativo europeo e le condizioni reali del costruito italiano non sia un fatto episodico, ma un elemento strutturale. Fatta eccezione per la singolare tipologia industriale, i risultati ottenuti di Daylight Provision non ritrovano un riscontro positivo nella realtà del contesto nazionale.

In base a quanto emerso dai risultati ottenuti i requisiti non vengono rispettati poichè rimane troppo stringente valore minimo nel 95 % dello spazio da raggiungere. Sebbene si riescano ad ottenere determinati valori di illuminamento in ambiente, raggiungere tale percentuale di spazio risulta molto difficile per gli archetipi edilizi analizzati.

Le simulazioni sembrano dunque allinearsi a quanto emerso nella letteratura analizzata nel Capitolo 5: la normativa incontra notevoli difficoltà nell'applicarsi a contesti urbani caratterizzati da densità edilizia medio-alta, come quelli tipici delle città italiane. Le altezze degli edifici, la ridotta distanza tra fronti opposti e la configurazione irregolare dei tessuti urbani limitano significativamente l'apporto di luce naturale, rendendo più difficile raggiungere i livelli minimi richiesti dalla UNI EN 17037.

A questo si aggiunge un ulteriore fattore: una parte consistente del patrimonio edilizio residenziale, soprattutto quello costruito tra il secondo dopoguerra e gli anni '80, presenta distribuzioni interne e morfologie delle facciate che non favoriscono un'illuminazione naturale efficace. Spesso gli ambienti principali non sono orientati in modo ottimale o presentano aperture insufficienti rispetto alle superfici interne.

In questa prospettiva, le simulazioni svolte assumono il ruolo di strumento interpretativo: più che verificare rigidamente la conformità, permettono di mettere in evidenza la relazione, spesso problematica, tra norme sovranazionali e condizioni locali. I risultati mostrano infatti che il mancato rispetto dei requisiti non riflette tanto una carenza progettuale, quanto disallineamento tra la logica della normativa e le caratteristiche del patrimonio edilizio delle realtà locali.

Per concludere, questo studio di tesi evidenzia l'importanza cruciale del processo di revisione della normativa europea

attualmente in atto. L'analisi fornisce una visione critica che contestualizza i punti di forza e le criticità della regolamentazione, ponendo particolare attenzione alla loro efficacia e adattabilità nell'ordinamento e nel contesto territoriale italiano. Questo approccio mira a facilitare la comprensione delle implicazioni locali delle future modifiche normative.

In tale direzione, il lavoro contribuisce a delineare un quadro interpretativo utile non solo alla lettura critica dell'attuale regolamentazione, ma anche alla definizione di criteri più aderenti alla realtà del costruito, capaci di guidare la progettazione verso soluzioni che integrino qualità ambientale, fattibilità tecnica e coerenza con il contesto urbano italiano.



## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Tri Hoang Do, M., & Yau, K.-W. (2010). Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells MICHAEL TRI HOANG DO AND KING-WAI YAU. *Solomon H. Snyder Department of Neuroscience and Center for Sensory Biology, Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, Maryland*, 1547–1573. <https://doi.org/10.1152/physrev.00013.2010.-Life>
2. Wirz-Justice, A., Skene, D. J., & Münch, M. (2021). *The relevance of daylight for humans. Biochemical Pharmacology*, 191, 114304. <https://doi.org/10.1016/J.BCP.2020.114304>
3. Altomonte, S. (2008). *Daylight for Energy Savings and Psycho-Physiological Well-Being in Sustainable Built Environments*.
4. Zamanian, Z., Dehghani, M., & Hashemi, H. (2013). Outline of Changes in Cortisol and Melatonin Circadian Rhythms in the Security Guards of Shiraz University of Medical Sciences. In *International Journal of Preventive Medicine* (Vol. 4, Issue 7). [www.ijpm.in](http://www.ijpm.in)[www.ijpm.ir](http://www.ijpm.ir)
5. Aranda, M. L., & Schmidt, T. M. (2021). Diversity of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells: circuits and functions. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 78(3).
6. Schöllhorn, I., Deuring, G., Stefani, O., Strumberger, M. A., Rosburg, T., Le-moine, P., Pross, A., Wingert, B., Mager, R., & Cajochen, C. (2023). Effects of nature-adapted lighting solutions (“Virtual Sky”) on subjective and objective correlates of sleepiness, well-being, visual and cognitive performance at the workplace. *PLoS ONE*, 18(8 August). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288690>
7. Holick, M. (2010). *Vitamin D: Physiology, Molecular Biology, and Clinical Applications*.
8. Engelsen, O. (2010). The relationship between ultraviolet radiation exposure and vitamin D status. In *Nutrients* (Vol. 2, Issue 5, pp. 482–495). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu2050482>
9. Mazzoleni, S., Magni, G., & Toderini, D. (2019). Effect of vitamin D3 seasonal supplementation with 1500 IU/day in north Italian children (DINOS study).

*Italian Journal of Pediatrics*, 45(1).  
<https://doi.org/10.1186/s13052-018-0590-x>

10. Jindal, A., Gupta, A., Vinay, K., & Bishnoi, A. (2020). Sun Exposure in Children: Balancing the Benefits and Harms. *Indian Dermatology Online Journal*, 11(1), 94. [https://doi.org/10.4103/idoj.idoj\\_206\\_19](https://doi.org/10.4103/idoj.idoj_206_19)
11. Balk, S. J. (2023). Sun Protection. *Pediatrics in Review*, 44(4), 236–239. <https://doi.org/10.1542/pir.2022-005545>
12. Zendjabil, M., & Abbou, O. (2015). Vitamin D deficiency. In *Vitamin D Deficiency*. Nova Science Publishers, Inc. <https://doi.org/10.48087/bjmsra.2015.2211>
13. Woo, M., MacNaughton, P., Lee, J., Tinianov, B., Satish, U., & Boubekri, M. (2021). Access to Daylight and Views Improves Physical and Emotional Wellbeing of Office Workers: A Crossover Study. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.690055>
14. Ko, W. H., Kent, M. G., Schiavon, S., Levitt, B., & Betti, G. (2022). A Window View Quality Assessment Framework. In *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America* (Vol. 18, Issue 3, pp. 268–293). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/15502724.2021.1965889>
15. Thayanithy, D., & Perera, N. (2023). Daylight and window view quality for visual comfort: the case of an office building in Jaffna. *Built-Environment Sri Lanka*, 13(2), 5. <https://doi.org/10.4038/besl.v13i2.7680>
16. Vikberg, H., Sepúlveda, A., & De Luca, F. (2022). Delightful Daylighting: A Framework for Describing the Experience of Daylighting in Nordic Homes and Coupling It with Quantitative Assessments. *Energies*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/en15051815>
17. Commission Internationale de l'Eclairage. 2020. *CIE S 017/E:2020. ILV: international lighting vocabulary 2nd*.
18. Yunitsyna, A., & Toska, A. (2023). Evaluation of the Visual Comfort and Daylight Performance of the Visual Art Classrooms. *Journal of Daylighting*, 10(1), 117–135. <https://doi.org/10.15627/jd.2023.9>
19. Vasquez, N. G., Rupp, R. F., Andersen, R. K., & Toftum, J. (2022). Occupants' responses to window views, daylighting and lighting in buildings: A critical review. In *Building and Environment* (Vol. 219). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109172>
20. Kou, F., A Shi, S., A Zhu, N., A Song, Y., A Zou, Y., A Mo, J., & A Wang, X. (2022). Improving the indoor thermal environment in lightweight buildings in winter by passive solar heating: An experimental study. *Indoor and Built Environment*, 31, 2257–2273.

21. Maduta, C., Tsemekidi-Tzeinaraki, Castellazzi, S., Dagostino, L., & Paci, G. (2023). *Updates on the Energy Performance of Buildings Directive implementation in the EU Member States*. <https://doi.org/10.2760/9619902>
22. Garcia-Fernandez, B., & Omar, O. (2023). Sustainable performance in public buildings supported by daylighting technology. *Solar Energy*, 264, 112068. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2023.112068>
23. Jovanović, A., Pejić, P., Djorić-Veljković, S., Karamarković, J., & Djelić, M. (2014). Importance of building orientation in determining daylighting quality in student dorm rooms: Physical and simulated daylighting parameters' values compared to subjective survey results. *Energy and Buildings*, 77, 158–170. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.03.048>
24. Lo Verso, V. R. M., Fregonara, E., Caffaro, F., Morisano, C., & Maria Peiretti, G. (2014). Daylighting as the driving force of the design process: From the results of a survey to the implementation into an advanced daylighting project. *Journal of Daylighting*, 1(1), 36–55. <https://doi.org/10.15627/jd.2014.5>
25. Mansy, K. (2017). *Daylight Rules-of-Thumb Experimentally Examined*.
26. Reinhart, C. F. (2005). *A SIMULATION-BASED REVIEW OF THE UBIQUITOUS WINDOW-HEAD-HEIGHT TO DAYLIT ZONE DEPTH RULE-OF-THUMB*.
27. Reinhart, C. F., & Lo Verso, V. R. M. (2010). A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight. *Lighting Research and Technology*, 42(1), 7–31. <https://doi.org/10.1177/1477153509104765>
28. Lewis, A. (2017). The mathematisation of daylighting: A history of British architects' use of the daylight factor. *Journal of Architecture*, 22(7), 1155–1177. <https://doi.org/10.1080/13602365.2017.1376342>
29. EN 17037:2018 + A1:2021, *Daylight in buildings*
30. *Decreto Ministero della Sanita 05-07-1975*. (1975).
31. Mardaljevic, J. (2000). Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(3), 111–118. <https://doi.org/10.1177/096032710003200302>
32. Reinhart, C. F., & Herkel, S. (2000). The simulation of annual daylight illuminance distributions — a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. *Energy and Buildings*, 32(2), 167–187. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00042-6)
33. *Approved method : IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE)*. (2012). Illuminating Engineering Society of North America.
34. *Approved method : IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE)*. (2012). Illuminating Engineering Society of North America.
35. Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38(7), 905–913. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2006.03.013>
36. Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38(7), 743–757. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2006.03.017>
37. Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 22 maggio 1967, n. 3151. (1967). *Criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione nelle costruzioni edilizie*.
38. Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 22 novembre 1974, n. 13011. (1974). *Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione*.
39. Decreto Ministero della Sanita 05-07-1975. *Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione*. (1975).
40. Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975. (1975). *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*.
41. Decreto del Presidente della Repubblica del 6 giugno 2001, n. 380. *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia. (Testo A)* (2001).
42. UNI 10840 - *Luce e illuminazione Locali scolastici, Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale*. (2000).
43. Mcneil, A., & Burrell, G. (2016). *APPLICABILITY OF DGP AND DGI FOR EVALUATING GLARE IN A BRIGHTLY DAYLIT SPACE*. [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
44. Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. (2011). *THE 'ADAPTIVE ZONE' – A CONCEPT FOR ASSESSING GLARE THROUGHOUT DAYLIT SPACES*. <http://www.gsd.harvard.edu/research/gsdssquare/Glar>
45. Quek, G., Wienold, J., Khanie, M. S., Erell, E., Kaftan, E., Tzempelikos, A., Konstantzos, I., Christoffersen, J., Kuhn, T., & Andersen, M. (2021). Comparing performance of discomfort glare metrics in high and low adaptation levels. *Building and Environment*, 206, 108335. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108335>

46. UNI EN 12464-1. *Illuminazione dei posti di lavoro*. (2021). European daylight standard based on calculations for Swedish multifamily residential buildings. Lighting Research and Technology. <https://doi.org/10.1177/14771535241306970>
47. EN 15193-1 *Energy performance of buildings-Energy requirements for lighting-Part 1: Specifications*. (2017).
48. *LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION*. (2019).
49. Heschong, L., & Saxena, M. (n.d.). *Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment*. <https://www.researchgate.net/publication/328416566>
50. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) (2018).
51. WELL Building Standard v2, Q2 2025.
52. Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale ITACA. (2019). *Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici residenziali*. [www.uni.com](http://www.uni.com)
53. D.M. 23 giugno 2022 n. 256. - *Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi*. (2022).
54. EN 17037:2018 + A1:2021 - "Daylight in buildings", (2021)
55. Sepúlveda, A., De Luca, F., Varjas, T., & Kurnitski, J. (2022). Assessing the applicability of the European standard EN 17037:2018 for office spaces in a cold climate. *Building and Environment*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109602>
56. Hraška, J., & Čurpek, J. (2024). The practical implications of the EN 17037 minimum target daylight factor for building design and urban daylight in several European countries. *Heliyon*, 10(1), e23297. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E23297>
57. Šprah, N., & Košir, M. (2020). Daylight provision requirements according to EN 17037 as a restriction for sustainable urban planning of residential developments. *Sustainability (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/su12010315>
58. Bournas, I. (2020). Daylight compliance of residential spaces: Comparison of different performance criteria and association with room geometry and urban density. *Building and Environment*, 185, 107276. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107276>
59. Jin, Z., Chen, X., Rogers, P., Perez Morata, A., Rasmussen, H. F., & Gentile, N. (2025). Proposal for revised criteria for daylight provision in the
60. Ridolfi, M. (1946). *Manuale dell'architetto*. C.N.R.
61. Caramellino, G., De Pieri, F., & Renzoni, C. (2015). *Esplorazioni nella città dei ceti medi. Torino (1945-1980)* (LetteraVentidue, Ed.).
62. Giampiero Aloï. (1971). *Case di abitazione* (Hoepli, Ed.; Vol. 1).
63. Giampiero Aloï. (1972). *Case di abitazione* (Hoepli, Ed.; Vol. 2).
64. Perogalli, C. (1959). *Case ed appartamenti in Italia* (Görlich Editore, Ed.).
65. Perogalli, C. (1963). *Case e palazzine isolate* (Görlich Editore, Ed.).
66. <https://www.urbem.polimi.it/>
67. Citterio, M., 2009. Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati, Report RSE/2009/161, s.l.: *ENEA - Ente per le Nuove tecnologie l'Energia e l'Ambiente*
68. Di Turi, S., Ronchetti, L. & Sannino, R., 2023. Towards the objective of Net ZEB: Detailed energy analysis and cost assessment for new office buildings in Italy. *Energy and Buildings*, Volume 279
69. Ye, Y., Xu, P., Mao, J., & Ji, Y. (2016). Experimental study on the effectiveness of internal shading devices. *Energy and Buildings*, 111, 154–163. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.11.040>
70. Su, M., Wu, J., & Wang, H. (2021). A Comparative Analysis of Lighting Design Software. *Proceedings - 2021 International Conference on Culture-Oriented Science and Technology, ICCST 2021*, 585–589. <https://doi.org/10.1109/ICCST53801.2021.00127>
71. <https://www.solemma.com/climatestudio>
72. <https://www.ladybug.tools/honeybee.html>

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA IMMAGINI

Immagine 1 , 2: Hickie, I. B., Naismith, S. L., Robillard, R., Scott, E. M., & Hermens, D. F. (2013). *Manipulating the sleep-wake cycle and circadian rhythms to improve clinical management of major depression*. BMC Medicine, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1741-7015-11-79>

Immagine 3.1: Behar-Cohen, F., Baillet, G., de Ayguavives, T., Garcia, P. O., Krutmann, J., Peña-García, P., Reme, C., & Wolffsohn, J. S. (2014). *Ultraviolet damage to the eye revisited: Eye-sun protection factor (E-SPF®), a new ultraviolet protection label for eyewear*. Clinical Ophthalmology, 8(1), 87–104. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S46189>

Immagine 3.2: Bernerd, F., Passeron, T., Castiel, I., & Marionnet, C. (2022). *The Damaging Effects of Long UVA (UVA1) Rays: A Major Challenge to Preserve Skin Health and Integrity*. In International Journal of Molecular Sciences (Vol. 23, Issue 15). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms23158243>

Immagine 7: Aminuddin, A. M. R., Rao, S. P., & Hong, W. T. (2012). Thermal comfort field studies in two certified energy efficient office buildings in a tropical climate. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 3(2), 129–136. <https://doi.org/10.1080/2093761X.2012.696324>

Immagini 15, 16, 17: UNI EN 12464-1. *Illuminazione dei posti di lavoro*. (2021).

Immagini 18, 19, 20, 21: LEED v4 for BUILDING DESIGN AND

CONSTRUCTION. (2019).

Immagini 21, 22, 23: BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) (2018).

Immagini 24, 25, 26 ,27, 28, 29, 30, 31, 32: EN 17037:2018 + A1:2021 - “Daylight in buildings”, (2021)

Immagini 34, 35, 36, 37: Perogalli, C. (1963). Case e palazzine isolate (Gorlich Editore, Ed.).

Immagine 38: [https://earth.google.com/b/@45.49639887,9.13293713,133.01882072a,233.94180119d,35y,164.73389195h,48.8615633t,0r/=CmUaXxJZCiUweDQ3ODZjMWIzZDIwYjEwNTc6MHg4NTdiYzBkNTMyYzhmM2E3Gb8w90OKv0ZAIc\\_N25kRnhPbU9FWl9PbjMyVTRjIAE6AwoBMEICCABKBwjpkfl8EAE](https://earth.google.com/b/@45.49639887,9.13293713,133.01882072a,233.94180119d,35y,164.73389195h,48.8615633t,0r/=CmUaXxJZCiUweDQ3ODZjMWIzZDIwYjEwNTc6MHg4NTdiYzBkNTMyYzhmM2E3Gb8w90OKv0ZAIc_N25kRnhPbU9FWl9PbjMyVTRjIAE6AwoBMEICCABKBwjpkfl8EAE)

Immagini 39, 40, 41, 42: Giampiero Aloï. (1971). Case di abitazione (Hoepli, Ed.; Vol. 1).

Immagine 43: <https://earth.google.com/b/@41.94308416,12.54799388,40.80762394a,252.92253993d,35y,128.090064h,47.64662677t,0r/data=CgRCAggBMikKJwolCiExcHlmUVpKbVAwcl9nMHM3bmRGeE9tT0VaX09uMzJVNGMgAToDCgEwQgIIAEoHCOmR-XwQAQ>

Immagini 44, 45: Perogalli, C. (1959). Case ed appartamenti in Italia (Görlich Editore, Ed.).

Immagine 46: Palermo: <https://earth.google.com/b/@38.1302849,13.33675546,63.29755367a,247.70018642d,35y,186.01585004h,46.4230908t,0r/=CgRCAggBMikKJwolCiExTDZLTklmZnA3VTkycWpKWmtsMWp0TXZBSE-hSSWtUYXkgAToDCgEwQgIIAEoICOP78McGEAE>

Immagine 47: <https://climatestudiodocs.com/docs/annualGlare.html>



## RINGRAZIAMENTI

Mi sento di dedicare questo spazio dell'elaborato alle persone che hanno contribuito, con il loro costante supporto, alla realizzazione dello stesso ed al conseguimento di questo titolo accademico.

In primis, ringrazio la relatrice Anna Pellegrino ed il correlatore Valerio Roberto Maria Lo Verso per il loro prezioso accompagnamento e le conoscenze trasmesse durante il percorso di stesura di questo lavoro.

Ringrazio di cuore i miei genitori Monica e Massimo, alla loro presenza costante e amorevole ed all'indiscriminata fiducia che ripongono in me. Ispirandomi sempre a voi come modelli di vita, mi avete trasmesso, tra le altre cose, la forza e la capacità per completare questo percorso. Grazie per essere i miei fan numero 1, con voi al mio fianco posso arrivare ovunque.

Al mio caro fratello Marco, alla persona che mi conosce meglio e sa sempre come prendermi. Sei parte integrante della mia vita e confrontarmi con te non è altro che motivo di orgoglio. Non ce l'avrei mai fatta senza il tuo supporto e vorrei, forse un po egoisticamente, non doverne mai fare a meno.

Ringrazio profondamente Sara, per l'amore che mi trasmette, la gioia che mi infonde e la solarità travolgente con cui mi rapisce. Sei ogni giorno per me un esempio di determinazione e di successo ed ammiro la passione con cui affronti ciò che fai. Con te ho capito che l'amore supera ogni ostacolo e stare al tuo fianco mi spinge davvero a diventare la versione migliore di me.

Ai miei nonni, Iolanda, Divio, Laura e Giovanni, siete una mano sulla spalla che non mi abbandona mai. Grazie per l'ambizione con cui mi avete sempre incoraggiato e i preziosi insegnamenti di vita che mi avete trasmesso. Ascoltare i vostri racconti è sempre un privilegio e ogni momento insieme ha avuto un valore speciale.

A zia Marzia, per il confronto sincero e il suo estro coinvolgente. In te ho sempre visto una spontaneità e una gioia contagiose che alleggeriscono i drammi e aiutano ad aprirsi. Grazie per avermi saputo ascoltare.

A zio Fabio, per la saggezza dei suoi consigli e per avermi offerto sempre un punto di vista lucido e coerente. Per l'affetto mai mancato anche a distanza e l'esempio che sei sempre stato per me, come uomo e come zio.

A Mosca, un amico vero e sensibile, che mi comprende. Grazie per avermi coinvolto in tutte le tue idee più strane e le esperienze più particolari che ti siano venute in mente. Per me ora sono ricordi felici di un'amicizia sincera. Sei la persona più disponibile che conosca e so che ci sarai sempre, come io per te amico mio.

A Riki, Tommy e Civ, i miei amici più stretti. Vi ringrazio per esserci stati sempre, con i viaggi, con le serate, con i calcetti, con una birra, con un abbraccio o con un kebab a vinzaglio. Felice di avervi incontrati il primo giorno di liceo e di crescere insieme da allora.

Grazie agli amici di *O\*\*\*\* in piscina* che ormai sono per me una seconda famiglia. Anche se prenderemo strade diverse sono sicuro che rimarremo legati da un rapporto indissolubile.

Agli amici di *PORTOPAPERÀ*, compagni di sempre e riferimento fondamentale della mia infanzia. Anche se oggi la distanza ci fa vedere meno spesso, il tempo passato insieme vale più

di qualsiasi cosa. Grazie per riuscire a farmi sentire parte del gruppo anche da 500 km di distanza.

Grazie agli amici di *A Tutto Reality* per accogliermi ogni estate a braccia aperte. Con voi ho vissuto alcuni dei miei momenti più felici e spensierati e ogni volta che ci vediamo è come se il tempo non fosse mai passato.

Ai *Maschi Alpha*: anche se vi ho tradito al fantacalcio, le serate con voi restano sempre una certezza. Condividere il tempo insieme mi mette di buonumore, e sono già pronto per un altro Santo Stefano come si deve.

Agli amici e colleghi dell'università per la condivisione ed il confronto, dal quale penso di aver imparato più di qualsiasi revisione. In particolare, grazie ad Alberto e Giusi, senza di loro non sarei qui. Grazie per i consigli, le correzioni e le pause caffè, ma anche per i momenti fuori dall'università e per l'incredibile summer school di questa estate.

Ed infine grazie a me per aver creduto in me stesso e non aver mai mollato, anche quando la motivazione veniva meno e le difficoltà mi facevano pensare di mollare. *I did it.*



